

Projecte de Fi de Carrera
Enginyer Industrial

Desenvolupament d'un Sistema de Injecció Directa de
Benzina en un Motor Alternatiu de 2 Temps

MEMÒRIA

Autor: Desideri Sala Roig
Director: Ernesto Gutiérrez González
Convocatòria: Setembre 2008 (pla 94)



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

En l'època actual, l'electrònica juga cada vegada un paper més important en l'automoció i en general, en els motors. S'utilitza per a millorar la seguretat, reduir la contaminació, millorar les prestacions i d'aquesta manera complir amb les noves normatives que els regeixen. Els MACI (Motors Alternatius de Combustió Interna) de dos temps estan perdent terreny en la seva utilització, essent minoritàries les empreses que dediquen recursos per al seu desenvolupament.

Aquest projecte mostra el disseny i la modelització d'un sistema de injecció directa electrònica de benzina per a aquest tipus de motors, amb la finalitat de donar-li una oportunitat de integració en el nou mercat del sector i una esperança als fidels seguidors d'aquest tipus d'arquitectura.

La investigació disposa d'un banc de proves amb un motor de ciclomotor incorporat i dels aparells de control que aquest requereix, així com un analitzador de gasos, un PC (computadora personal) i un oscil·loscopi.

Per a realitzar la gestió d'aquest sistema, es dissenya i es modelitza un aparell de control de la injecció de fàcil utilització, que permet controlar el temps d'inici de la injecció i el temps de durada d'aquesta. Aquest aparell utilitza la senyal d'un sensor inductiu muntat al cigonyal, com a punt de referència. Es realitzen també modificacions en el circuit d'alimentació de combustible i elèctric, així com en algunes parts de la mecànica per tal d'adaptar-los al nou funcionament.

S'explica amb detall com fer ús d'aquest banc i com realitzar les proves amb el motor. Al mateix temps s'aprofita per fer les proves amb el motor de la Derbi Predatro i buscar les seves prestacions i punts de funcionament del sistema original i del nou sistema d'injecció.

Els resultats obtinguts pel que fa a la contaminació amb aquest sistema no són definitius. D'altre banda donen uns resultats força esperançadors per la implantació de les noves tecnologies en aquest tipus d'arquitectura.





SUMARI

RESUM	1
SUMARI	3
1. GLOSSARI	7
2. PREFACI	9
2.1. Origen del projecte	9
2.2. Motivació	9
3. INTRODUCCIÓ	11
3.1. Objectius del projecte	11
3.2. Abast del projecte	11
4. PRINCIPIS DE FUNCIONAMENT DELS MOTORS DE 2T	13
4.1. Esquema del motor de 2T.....	13
4.2 Renovació de la càrrega en Motors de 2T.....	13
4.1.1. Caixa de làmines	14
4.1.2. Vàlvula rotativa.....	15
4.1.3. Injecció directe.....	16
4.1.4. Llaç Schnürle.....	16
4.1.5. Escapament	17
4.1.6. Avaluació de l'escombrat	18
4.2. Cicle 2T	19
4.3. Diagrames de distribució	20
4.3.1. Diagrama simètric	20
4.3.2. Diagrama asimètric	21
4.4. Lubrificació.....	22
5. SISTEMES ACTUALS D'INJECCIÓ 2T	23
5.1. DITECH (Direct Injection Technology).....	23
5.2. TSDI (Two Stroke Direct Injection)	24
5.2.1. Funcionament.....	24
5.2.2. Diagnosi.....	26
5.2.3. Compressor	26
6. SISTEMA D'INJECCIÓ DE BENZINA PER AL 2T	29
6.1. Sistema electrònic de sincronització del cigonyal.....	29



6.1.1.	Sensor escollit.....	29
6.1.2.	Suport del sensor.....	30
6.2.	Electrònica de control de la injecció.....	32
6.2.1.	Alimentació.....	33
6.2.2.	Condicionament.....	33
6.2.3.	Processament.....	33
6.2.4.	Controlador del injector.....	34
6.3.	Aparell de control del injector.....	36
6.4.	Injector.....	39
6.5.	Culata amb injector incorporat.....	40
6.6.	Sistema d'alimentació de combustible.....	42
6.6.1.	Regulador de pressió.....	43
6.6.2.	Filtre de combustible.....	43
6.6.3.	Bomba de combustible.....	43
6.6.4.	Funcionament del sistema d'alimentació de combustible.....	44
6.7.	Monitorització de les senyals.....	44
6.7.1.	Monitorització per oscil·loscopi.....	45
6.7.2.	Monitorització per ordinador.....	47
6.7.3.	Tarja NI USB-6210.....	47
6.7.4.	PC.....	48
6.8.	Llenguatge de programació.....	49
6.8.1.	Descripció del algoritme.....	50
6.8.2.	Panell frontal.....	52
7.	PROVES	55
7.1.	Estació de treball.....	55
7.1.1.	Gasos d'escapament.....	56
7.1.2.	Sistema de control.....	57
7.1.3.	Sistema de seguretat.....	58
7.2.	El Motor d'estudi.....	58
7.3.	Posta a punt inicial de l'estació de treball.....	62
7.4.	Manual de funcionament.....	67
7.5.	Proves del motor.....	70
7.5.1.	Corbes del motor amb carburador.....	70
7.5.2.	Corbes del motor amb injecció.....	73
7.6.	Disseny d'un sistema d'injecció directe controlat per microcontrolador.....	79
8.	ESTUDI DE IMPACTE AMBIENTAL	83



9. COSTS	85
CONCLUSIONS	87
AGRAÏMENTS	89
BIBLIOGRAFIA	91
Referències bibliogràfiques	91
Bibliografia complementària	92



Annexos

SUMARI	1
A. TARJA NI-USB 6210	3
B. SENSOR INDUCTIU	17
C. INJECTOR	21
D. COMPONENTS ELECTRÒNICS	23
D.1 74HC00 NAND	23
D.2 74HC04 Inversor	39
D.3 NE556 Timer	57
D.4 Integrat TS7805	65
D.5 LM 1949 Injector drive controller	75
D.6 BDW93C Darlington transistors	86



1. Glossari

2T	Dos temps
4T	Quatre temps
APMS	Avanç del Punt Mort Superior
CAD	Disseny Assistit per Computador
DAQ	Adquisició de dades
DITECH	Direct Injection Technology
ECU	Unitat Electrònica de Control
MACI	Motor Alternatiu de Combustió Interna
OE	Obertura escapament
OS	Sistema Operatiu
PC	Computador Personal
PIC	Microcontrolador
PMI	Punt Mort Inferior
PMS	Punt Mort Superior
Poly-V®	Corretja estriada en el sentit longitudinal
ppm	Parts per milió
rpm	Revolucions Per Minut
TE	Tancament escapament
TSDI	Two Stroke Direct Injection



USB Bus de Serie Universal

VI Instruments Virtuals



2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

Amb el transcurs dels anys i amb la implantació de noves normatives contra la contaminació, els motors alternatius de combustió interna (MACI) de dos temps s'han anat substituint pels de quatre temps en el sector dels ciclomotors i en les motos de petita cilindrada, on en dominaven la producció fins al dia d'avui.

Poques empreses dediquen investigacions pel desenvolupament de motors d'aquesta categoria per fer-los més competitius. La tendència du a la utilització de recursos ja existents en el món de l'automoció (amb motors de quatre temps), on cada vegada l'electrònica juga un paper més important, disminuint les emissions de contaminants i augmentant les prestacions respecte els motors de gestió mecànica.

2.2. Motivació

Aquest projecte neix de la gran passió per la mecànica i els MACI de dos temps així com del desig de realitzar la seva gestió electrònica i tot el que amb això hi està relacionat. Aquest projecte segueix les línies d'investigació que durant anys es segueixen en el Laboratori de Motors Tèrmics de l'ETSEIB (Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona).





3. Introducció

3.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és el disseny, realització i el posterior funcionament d'un sistema de gestió de combustible per injecció directe electrònica, que es basa en la senyal provinent d'un sensor inductiu incorporat al motor.

Al mateix temps, cal desenvolupar un sistema de control d'aquest tipus de gestió, eficaç i de fàcil manipulació que permeti un control manual del injector.

Interessa crear un sistema que només injecti benzina dins del motor, a diferència dels sistemes actuals que la barregen amb aire. A ésser possible, aquesta injecció a d'evitar el curtcircuit (pèrdua de combustible sense cremar pel conducte de l'escapament).

3.2. Abast del projecte

El projecte es centra en el disseny d'un sistema de injecció directa de benzina pels motors de dos temps així com en tot el necessari pel seu control, alimentació de combustible, obtenció de senyals de referència, etc.

S'especifiquen els detalls de funcionament del banc de proves i de les pautes necessàries per la realització de les proves. Un cop s'obtenen les proves s'interpreten els resultats i se'n treuen conclusions.

També s'aprofita per a repassar conceptes generals sobre els motors de dos temps.





4. Principis de funcionament dels motors de 2T

4.1. Esquema del motor de 2T

En la figura 4.1 s'observa l'esquema general d'un motor de dos temps (2T).

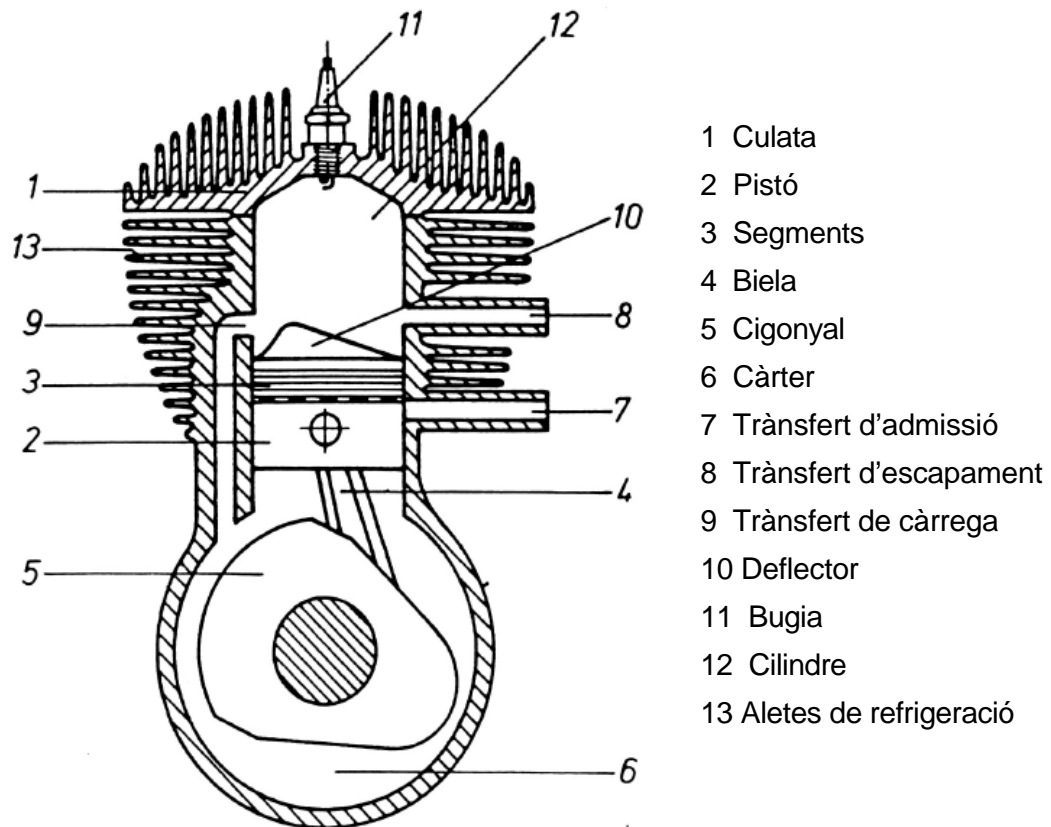


Fig. 4.1 Esquema general d'un motor de dos temps [1]

4.2 Renovació de la càrrega en Motors de 2T.

La renovació de la càrrega en el motor de 2T (motor de dos temps), està basada en la utilització d'una bomba descombrat (procés que consisteix en introduir la mescla fresca al cilindre i facilitar l'extracció dels gasos cremats), que substitueix les fases d'admissió i escapament del motor 4T (motor de quatre temps). La funció principal d'aquesta bomba



és generar una pressió d'admissió superior a l'atmosfèrica. Aquesta mateixa sobrepressió és la causant d'introduir la mescla fresca (benzina, oli i aire) a l'interior del cilindre en el breu interval de temps en el que els trànsferts de càrrega estan oberts i el pistó està situat a la proximitat del PMI (Punt Mort Inferior) i per tant, la seva velocitat és molt baixa.

El seu rendiment volumètric té una forta dependència respecte el comportament fluid dinàmic de la càrrega fresca i dels gasos d'escapament, que queda determinat tant per les geometries del recinte i els conductes de comunicació amb l'exterior com pel règim de gir del motor.

La dificultat de realitzar una bona renovació de la càrrega en un ampli rang de revolucions ha encaminat aquest tipus de motors a aplicacions on el rendiment no és prioritari, però on si es requereix d'elevades potències específiques, característiques pròpies d'aquest tipus de motors, al realitzar un cicle complet per cada dos carreres del pistó.

Aquest tipus de motor es caracteritza per una potència específica considerable juntament amb una simplicitat mecànica degut a que l'obertura i el tancament del recinte de combustió es corresponen amb el moviment del pistó. Aquest fet ha permès substituir el sistema de distribució per un sistema de conductes inclosos en les parets del cilindre (trànsferts) que són descoberts pel propi pistó en el seu desplaçament. A conseqüència d'això i com a tendència simple i econòmica, el sistema de bomba d'escombrat més utilitzat i comú és el que fa ús del propi càrter del motor.

La bomba d'escombrat per càrter requereix que el pistó treballi per les dues cares. La fase tancada la realitza la part superior amb la compressió i l'expansió, mentre que la part inferior realitza l'aspiració, omplint el càrter en la seva carrera ascendent i pressuritzant i transmetent el fluid al cilindre en la carrera descendent.

Aquest sistema requereix d'un control d'admissió i d'escapament. En els apartats següents s'indiquen els sistemes de control més utilitzats avui dia.

4.1.1. Caixa de làmines

Aquest sistema és el més utilitzat. Es tracta d'una vàlvula antiretorn del fluid que es situa en el conducte d'entrada al càrter. Actua com a vàlvula d'obertura unidireccional on el seu



tancament es controla per la diferència de pressions entre l'interior del càrter i el conducte d'admissió.

Si les làmines es sintonitzen a règims de gir baixos (variacions de pressió lentes), degut a la seva poca rigidesa, ja no podran seguir les diferències de pressió a alts règims de funcionament, no podent assegurar el tancament de les vàlvules i reduint d'aquesta manera l'eficiència del sistema.

Si pel contrari, es sintonitzen a règims de gir elevats, s'hauran de dissenyar unes làmines massa robustes per a poder suportar les tensions mecàniques, que per la seva massa seran ineficients a règims baixos.

En general, les làmines es sintonitzen a una freqüència del 80% la freqüència de potència màxima del motor.

4.1.2. Vàlvula rotativa

Aquest sistema de control de l'admissió, incorpora un disc de metall o kevlar que gira solidari al cigonyal i que té una obertura en forma de secció angular. Aquesta obertura, al enfrontar-se amb el conducte d'admissió, és la que permet l'entrada de mescla al càrter.

El gran avantatge d'aquest sistema és la possibilitat de distribució asimètrica de la fase d'admissió. A més, la rapidesa d'obertura permet un bon comportament de les ones per crear efectes ressonadors, mentre que l'absència de qualsevol limitació en millora el rendiment.

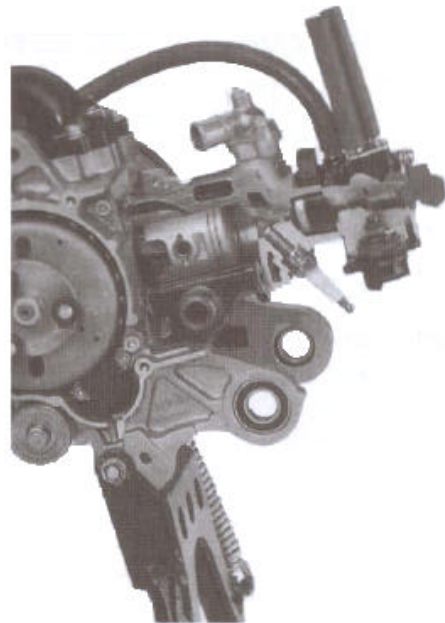
La vàlvula rotativa, presenta però, l'inconvenient de requerir un extrem lliure del cigonyal per a col·locar aquesta vàlvula. És per aquest motiu, que actualment aquest sistema només s'acostuma a utilitzar en motos de competició, on es pot variar ràpidament la duració i el calat de la fase d'admissió, canviant el disc de la vàlvula per un altre que tingui una obertura diferent. En aquests casos la necessitat d'obtenir altes prestacions s'imposa a la complexitat mecànica.



4.1.3. Injecció directe

Dels pocs sistemes del mercat que utilitzen la injecció directe de benzina en motors de 2T, la majoria deriven del sistema Orbital (*Fig. 4.2*). Aquest utilitza la bomba mecànica exclusivament per la compressió d'aire i injecta directament a la cambra de combustió una mescla precompressada d'aire i benzina, requerint dos compressors elèctrics més, un per la benzina i un per l'aire.

En canvi, un sistema proposat per la firma Derbi i que encara no s'ha comercialitzat, utilitza el compressor mecànic per comprimir una mescla de combustible i aire realitzada en un carburador, que s'envia a un injector situat a la culata.



*Fig. 4.2 Motor Aprilia SR Ditech
Sistema Orbital [2]*

4.1.4. Llaç Schnürle

Aconseguir un correcte escombrat és molt complex, ja que depèn de la posició, la geometria i orientació dels trànsferts, la diferència de pressió entre el càrter i el cilindre, la posició del trànsfert d'escapament, la velocitat del fluid i pistó i el temps disponible per cada cicle que quedarà determinat per el règim de gir del motor. Si l'escombrat és excessiu es produirà curtcircuit, mentre que si és insuficient la renovació de la càrrega serà deficient.

El sistema més extens és el d'escombrat per llaç Schnürle que consisteix en fer entrar al cilindre la mescla comprimida, formant una llaç ascendent en forma d'hèlix. Aquest flux d'aire fresc es dirigeix cap a la zona diametralment oposada al trànsfert d'escapament i amb un lleuger angle d'elevació, com mostra la figura 4.3. D'aquesta manera s'aconsegueix que els gasos frescos empenyin els procedents de la combustió cap a l'exterior del cilindre, refrigerant al mateix temps el cap del pistó.



Fig. 4.3 Llaç Schnürle [3]



4.1.5. Escapament

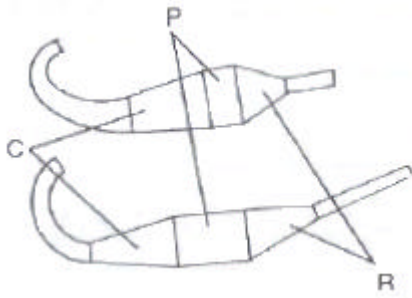


Fig. 4.4 Dos "tubarros" deportius. C: con; P: panxa; R: contracon
[4]

El procés d'escapament dels gasos cremats és de vital importància en els motors de 2T. Es tracta d'utilitzar al disseny dels tubs d'escapament els fenòmens ondulatoris que acompanyen els gasos en la seva sortida. Aquests tipus de tubs s'anomenen "tubarros" i es componen de tres seccions clarament diferenciades (Fig. 4.4):

-con: secció que segueix a la sortida inicial del tub i que augmenta de dimensions per a crear la depressió. Aquesta depressió és la que fomenta la sortida dels gasos cremats del interior del cilindre en

el moment en que el pistó es situa en el PMI, ja que en aquests instants la velocitat del pistó és molt petita i els gasos comprimits al càrter pateixen una disminució en la seva tendència de pujar al cilindre.

-panxa: zona del "tubarro" posterior al con i que manté la secció originada en aquest últim.

-contracon: secció que segueix a la panxa i disminueix les seves dimensions per a generar una pressió. Aquesta pressió és la que impedeix el curtcircuit en el moment en que el trànsfert de càrrega ja ha estat tancat però el d'escapament continua obert.

Com s'observa, els "tubarros" es dissenyen (sintonitzen) per un règim específic de funcionament del motor fent perdre rendiment d'aquest en altres règims de funcionament. D'aquesta manera els motors que treballin a baixes voltes, requeriran que les ones creuin el tub en un temps prolongat obligant a utilitzar tubs llargs amb con i contracon amb poc angle d'obertura. D'altra banda, si es vol que el motor treballi a altes revolucions es requeriran tubs curts amb con i contracon amb un angle d'obertura més pronunciat.

En la figura 4.5 s'observa l'evolució de la pressió en una zona propera al trànsfert d'escapament per a diferents geometries del tub d'escapament.



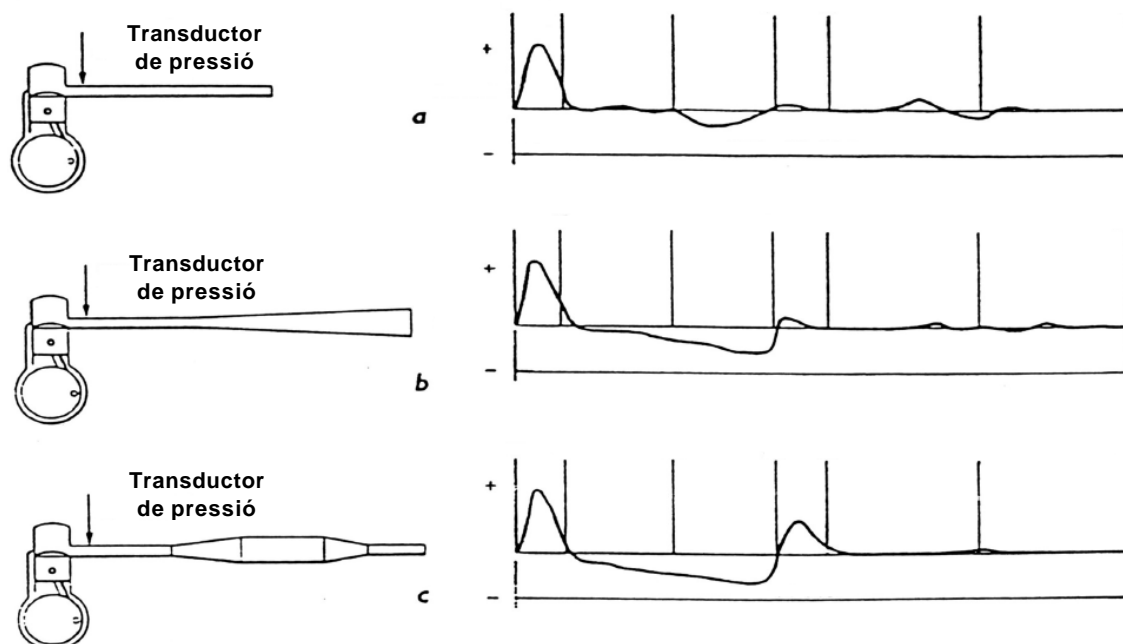


Fig. 4.5 Pressió mesurada amb un transductor prop del trànsfert d'escapament, en funció del temps i per e tres tipus de "tubarro" (a, b i c). Motor de 2 temps.

[5]

4.1.6. Avaluació de l'escombrat

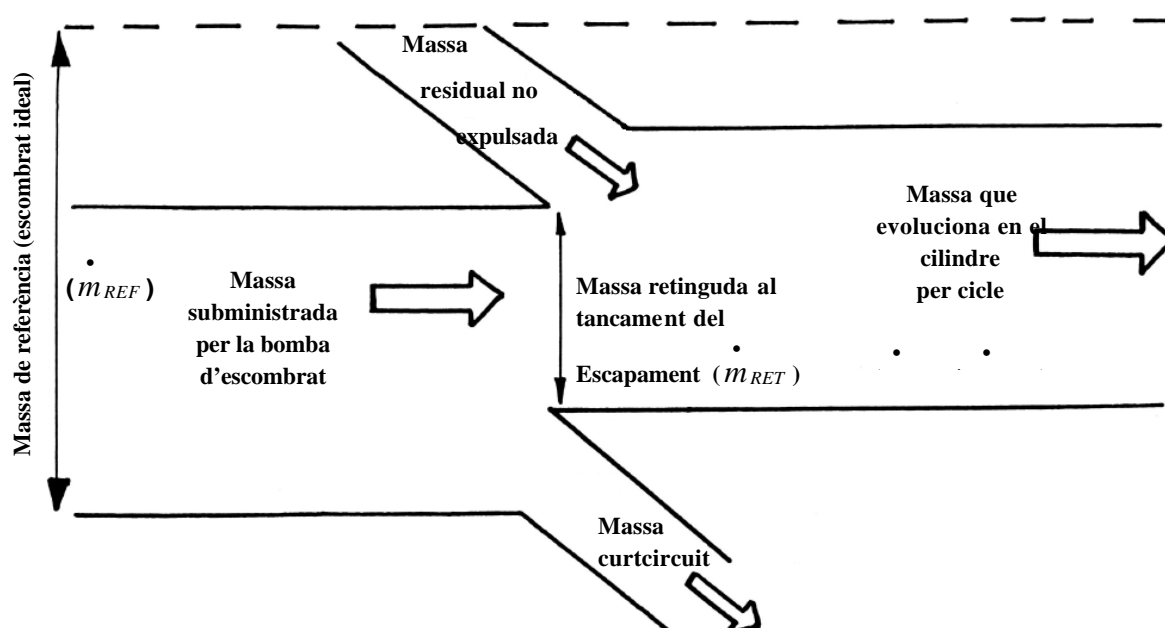


Fig. 4.6 Balanç de massa al interior del cilindre per el procés d'escombrat [6]



$$\text{Rendiment escombrat} \rightarrow h_b = \frac{\dot{m}_{RET}}{\dot{m}_{RET} + \dot{m}_{RES}} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

$$\text{Coeficient omplert} \rightarrow h_b = \frac{\dot{m}_{RET} + \dot{m}_{RES}}{\dot{m}_{REF}} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

En la figura 4.6 s'observa el balanç de massa que es produeix al interior del cilindre degut al procés d'escombrat.

4.2. Cicle 2T

Tal i com s'observa en la figura 4.7, les fases del motor de 2T són:

- 1- El pistó en la seva carrera ascendent tanca l'orifici del trànsfert de càrrega i seguidament el del trànsfert d'escapament. El gasos són comprimits en l'interior del cilindre al mateix moment que s'aspiren en el càrter els gasos frescos provinents del carburador, degut a la depressió creada en aquest.
- 2- Salta la guspira i es produeix la combustió de la mescla.
- 3- L'explosió empeny el pistó provocant el descens d'aquest i deixant al descobert el trànsfert d'escapament. És d'aquesta manera que es produeix la fase d'escapament. A mesura que el pistó baixa, la disminució de volum al càrter augmenta la seva pressió, deixant d'entrar la mescla fresca i començant a comprimir la ja existent al seu interior originant la precompressió.
- 4- El trànsfert de càrrega queda descobert i la mescla precomprimida passa a través d'aquest per introduir-se en el cilindre ajudant al mateix temps a l'extracció dels gasos cremats, en el que és coneix com a escombrat. Durant aquest instant en el que els trànsferts de càrrega i el d'escapament estan oberts, es produeix el possible curtcircuit, on part dels gasos frescos es perden per l'escapament.



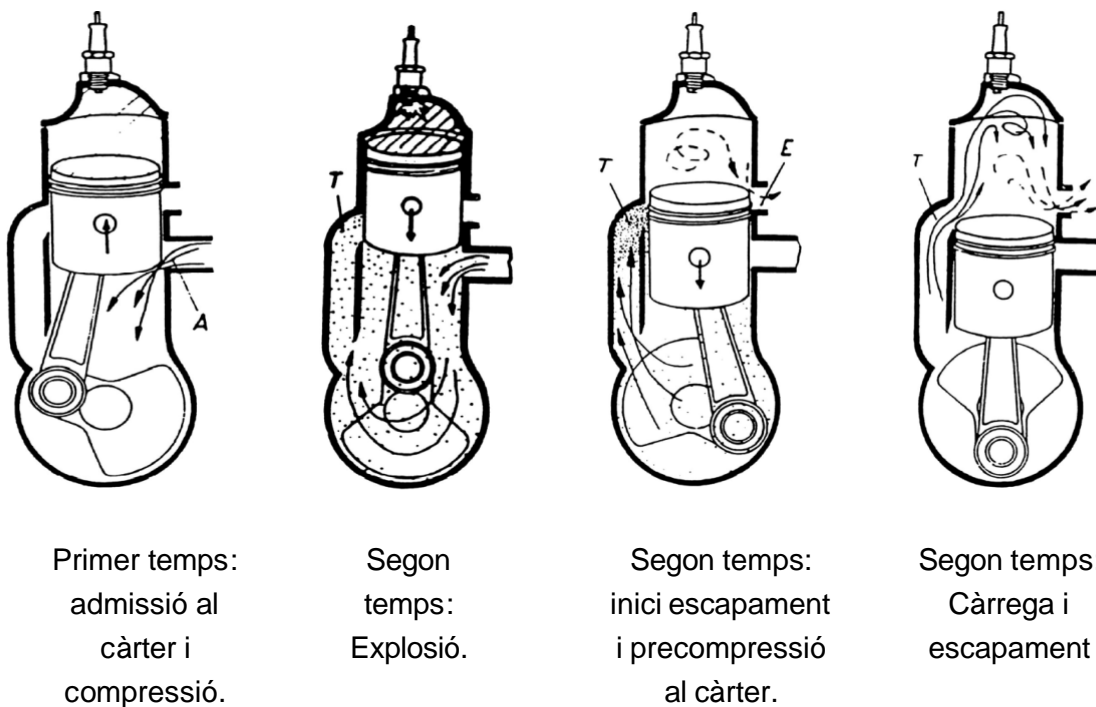


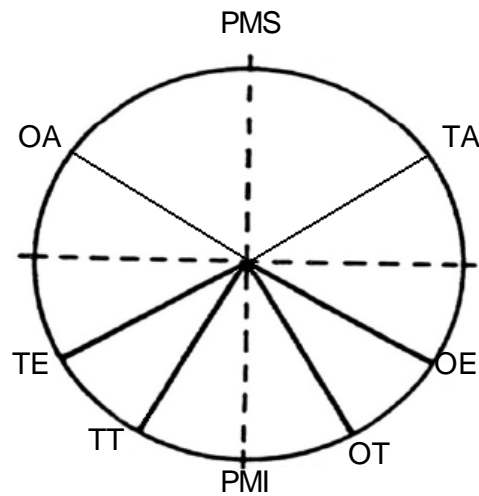
Fig. 4.7 Cicle del motor de dos temps [7]

4.3. Diagrames de distribució

4.3.1. Diagrama simètric

La possibilitat d'existència del curtcircuit és un dels problemes més importants d'aquest tipus de motors, ja que provoca una pèrdua del rendiment i l'augment important de les emissions de HC (hidrocarburs) sense cremar i en definitiva de la contaminació. L'aparició del curtcircuit està associada al control directe dels trànsferts per el pistó, ja que es produeix el que és coneix com distribució simètrica (Fig. 4.8), en la que el trànsfert d'escapament s'obre avanç que el de càrrega i es tanca després d'aquest.





PMS – Punt Mort Superior

PMI – Punt Mort Inferior

TA – Tancament Admissió (al carter)

OE – Obertura Escapament

OT – Obertura Transferència (entre el carter i el cilindre)

TT – Tancament Transferència (entre el carter i el cilindre)

TE – Tancament Escapament

OA – Obertura Admissió (al carter)

Fig. 4.8 Diagrama distribució simètric d'un motor 2T

4.3.2. Diagrama asimètric

Una distribució asimètrica (Fig. 4.9) és una possible solució, en la que els angles entre l'obertura i el tancament dels diferents trànsferts respecte el PMI i el PMS són diferents (asimètrics). En aquest sistema s'acostuma a tancar en primer lloc l'escapament i seguidament l'admissió.

Aquest tipus de sistema de distribució requereix d'un control independent del pistó respecte un dels dos conductes, habitualment el d'escapament. El control s'ha de realitzar per mitjà de vàlvules d'escapament, fet que obliga a introduir un sistema de distribució equivalent al dels motors de 4T, augmentant el cost de fabricació, el pes i la complexitat.

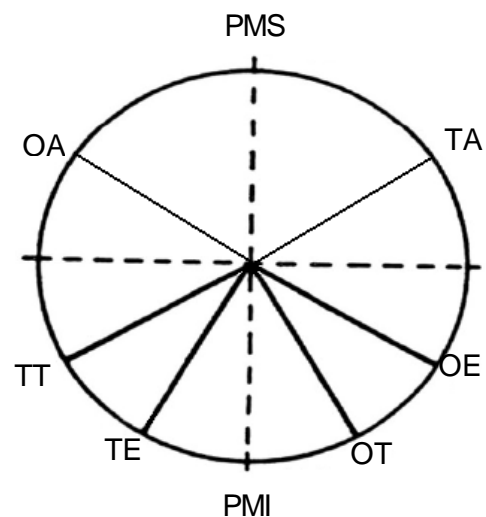


Fig. 4.9 Diagrama distribució asimètric d'un motor 2T



4.4. Lubricació

La lubricació es du a terme per mitjà de l'oli que es barreja amb la mescla i que per tant entra al càrter durant l'aspiració. Al entrar els gasos amb velocitat i frenar-se bruscament al omplir el càrter, les partícules d'oli, al ésser més pesades, són precipitades a les parets i al fons, lubricant d'aquesta manera els coixinets i els components en moviment. A través de la mescla passa també al cilindre la proporció necessària de lubricant per engrassar la seva paret superior.



5. sistemes actuals d'injecció 2T

5.1. DITECH (Direct Injection Technology)

Quan les perspectives semblaven fer inevitable l'adopció del motor de quatre temps per a complir els nivells d'emissions que les normatives exigeixen, Aprilia sorprenia amb el llançament d'una scooter de la seva gama RS, equipat amb un motor de dos temps dotat de la tecnologia DITECH (Fig. 4.2), que deixava enrere els somnis més optimistes dels aficionats i defensors del motor de trànsferts. Encara que no era el primer motor de dos temps sobre el que s'experimentava el sistema d'injecció de combustible, sí que era la primera scooter que es comercialitzava amb aquest sistema i que sorprenia al provar-lo, per els seus bons resultats.

La seva innovació fonamental recau en el fet de que la benzina no entra mesclada amb l'aire i l'oli en el càrter, com en un motor convencional de dos temps, sinó que s'introdueix directament a la cambra de combustió a través d'un injector. Tot el procés és controlat electrònicament per una centralita que rep informació dels diversos sensors i amb la utilització de sofisticades bombes electròniques per dosificar la quantitat necessària en cada moment.

El sistema DITECH efectua l'escombrat de la cambra exclusivament amb aire lubricat, permetent l'entrada de la benzina únicament quant el trànsfert d'escapament està tancat, evitant d'aquesta manera el curtcircuit. Això permet que la benzina s'utilitzi completament, amb lo que es redueix el consum i la contaminació. A més a més, la combustió és molt millor gràcies al injector que aconsegueix una càrrega estratificada. Així només s'utilitza una càrrega rica en la part de la cambra de combustió pròxima a la bugia, facilitant la propagació de la flama fins a les zones pobres que estan al límit de l'encesa.

La proporció d'aire/benzina es redueix, de 1 part de benzina per a 14 d'aire, que s'acosta a lo normal, a 1 part de benzina per a 30/50 parts d'aire segons lo que el motor requereix.

El consum d'oli també es veu disminuït, ja que al no passar la benzina per el càrter, aquest no es netejat per l'efecte dissolvent del combustible i amb quantitats inferiors d'oli es manté el motor ben engrassat.



5.2. TSDI (Two Stroke Direct Injection)

5.2.1. Funcionament

El principi de funcionament d'aquest sistema d'injecció directe pels motors de dos temps (Fig. 5.1), consisteix en mesurar el règim de motor i la seva càrrega (obertura de la papallona), per a determinar la quantitat òptima de combustible per a injectar.

Aquest sistema de Peugeot forma part dels nous objectius de la marca sobre el respecte i la protecció del medi ambient.

En el moment de l'admissió, al motor només entra aire. Aquest aire comprimit sota el pistó, es enviat fins a la cambra de combustió a través dels trànsfert. L'escombrat es realitza exclusivament amb aire lubricat, d'aquesta manera si es produeix curtcircuit, no es perd carburant. La benzina només s'injecta en el moment de la compressió quan el pistó està pujant i per mitjà del injector de la figura 5.2 .

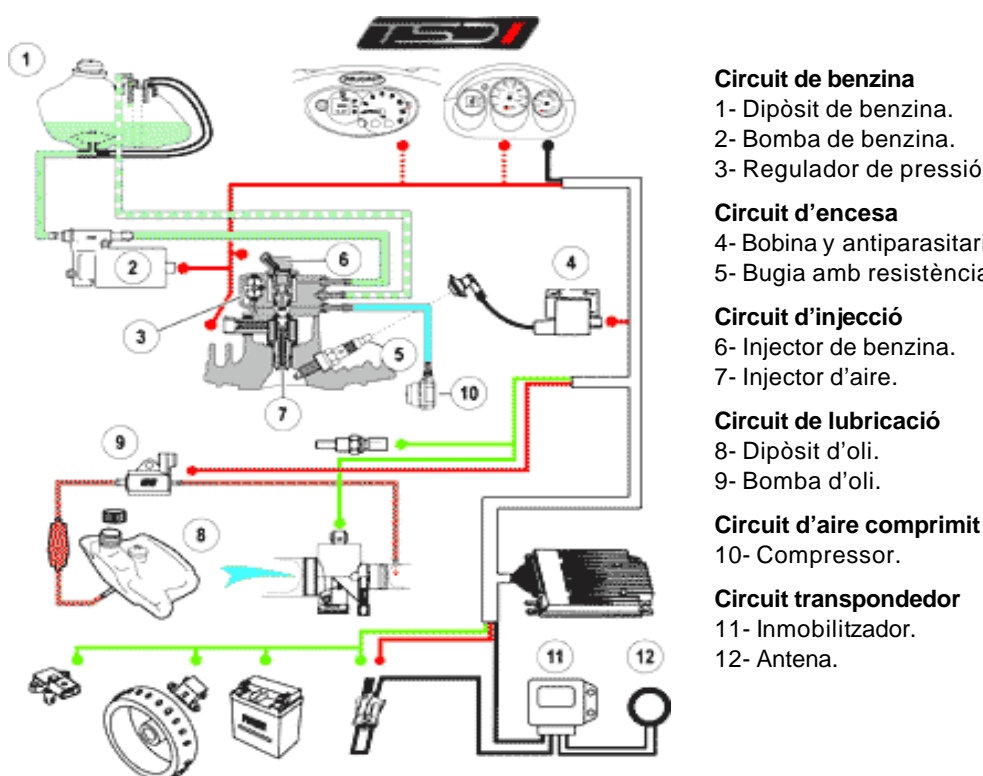


Fig. 5.1 Circuit bàsic sistema TSDI Peugeot [8]



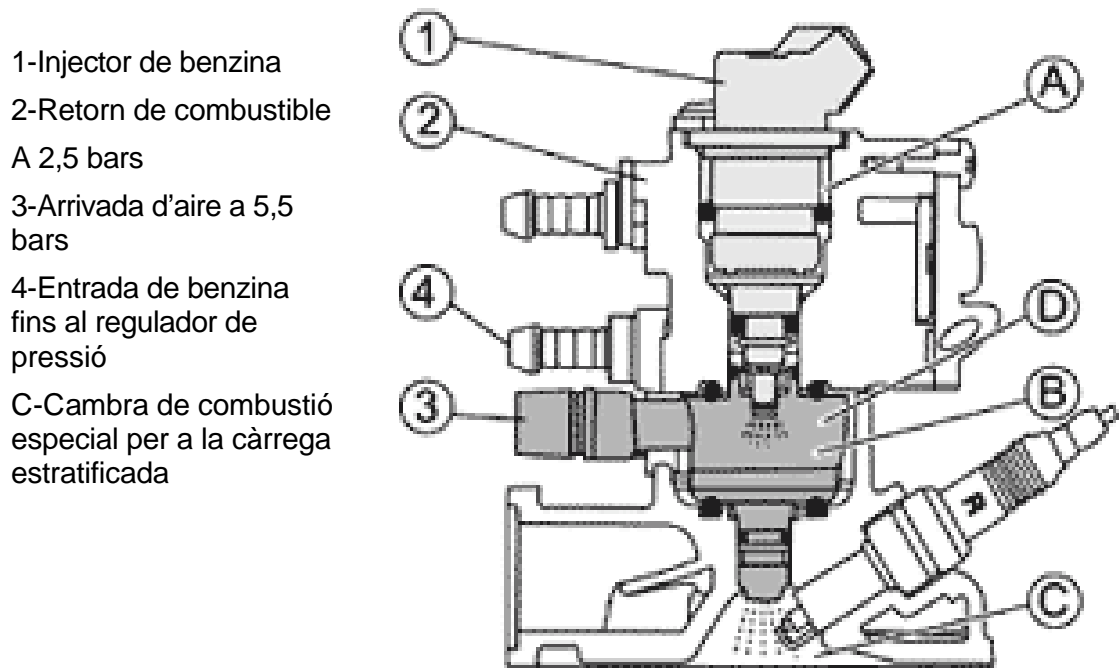


Fig. 5.2 Injejector sistema TFSI [9]

Per a transportar el carburant, el sistema utilitza aire a pressió (D Fig. 5.2). Aquest aire es comprimit per un compressor accionat per el cigonyal. El combustible sota pressió (A Fig. 5.2) està injectat en la cambra de mescles (B Fig. 5.2) del injejector d'aire. Al arribar aire sota pressió es barreja amb el carburant injectat i el conjunt a la vegada és injectat directament en la cambra de combustió (C Fig. 5.2) quan el pistó puja.

En un carburador, el caudal de carburant és proporcional al diàmetre dels sortidors. La corba de riquesa de la mescla és fixa i proporcional a els sortidors. D'aquesta manera la combustió poques vegades es realitza de forma idònia ja que la mescla és massa rica o massa pobre en benzina. Hi ha per tant una pèrdua de rendiment.

En un sistema de injecció, la ECU (Unitat Electrònica de Control) determina la quantitat de carburant estrictament necessari per garantir el bon funcionament del sistema, en funció dels paràmetres reals de funcionament del motor mesurats per uns sensors. D'aquesta manera la riquesa de la mescla és sempre la idònia, fet que millora la qualitat de la combustió i per tant el rendiment del motor, economitzant fins a un 35% de combustible utilitzant aquest sistema.



La bomba d'oli d'un motor amb carburador s'acciona directament pel cigonyal i el caudal d'oli és directament proporcional al règim de gir del motor. En alguns casos s'aplica una correcció en la bomba de caudal variable, en funció de la càrrega, però el caudal d'aquesta sempre és proporcional al règim motor.

Les necessitats de lubricant del motor, canvien significativament segons els estats de la càrrega. El sistema de injecció controla electrònicament la bomba d'oli i en aquest cas pot determinar la quantitat a injectar en funció de les autèntiques necessitats del motor així com ho fan amb la benzina. D'aquesta manera el sistema permet economitza fins a un 40 % d'oli.

5.2.2. Diagnosi

L'indicador lluminós de diagnosi, s'encén al donar el contacte en el vehicle, per controlar el seu funcionament i s'apaga quan el motor es posa en marxa si no s'ha produït cap problema. En el cas de que es produeixi algun incident, s'adverteix al conductor per mitjà d'aquest indicador.

Tres nivells de incidents són indicats:

- Greu de seguretat: parada obligatòria. L'indicador lluminós es manté encès.
- Greu: l'indicador fa intermitències. L'error afecta sobre el funcionament del vehicle.
- Menor: l'indicador no s'encén i l'error es corregeix quan es va al taller.

El diagnòstic del sistema el realitza una eina de diagnosis especial desenvolupada per Peugeot Motocycles, en col·laboració amb Synerject LLC.

5.2.3. Compressor

El compressor de tipus Roots (Fig. 5.3) s'acciona mecànicament a través d'una corretja Poly-V® (corretja estriada en el sentit longitudinal) per mitjà del motor. El compressor aspira aire a través del filtre d'aire i el reenvia a pressió fins al conducte d'admissió, augmentant la taxa d'ompliment del motor.





Fig. 5.3 Compressor sistema TFSI [10]

La relació de transmissió entre el compressor i el motor és de 1 (la politja del extrem del cigonyal i la del compressor tenen el mateix diàmetre). El règim de rotació del compressor és, per tant, idèntic al del motor. La rotació sincronitzada dels 2 rotors de tres lòbuls (Fig. 5.4) que formen l'essència del compressor, es realitza per dos pinyons dentats de igual diàmetre lubricats mitjançant bany d'oli.

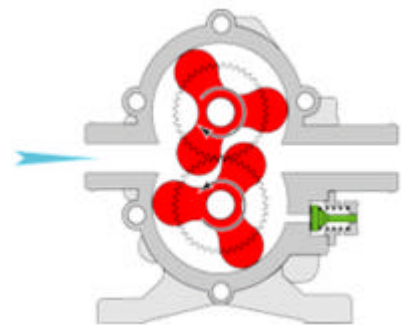


Fig. 5.4 Part interior del compressor del sistema TFSI [11]

El compressor està subjecte al càrter a través de quatre “silenblocs” que n'esmorteeixen les vibracions procedents de la rotació del compressor. No requereix de manteniment especial, només un control periòdic del nivell d'oli.

Per seguretat una vàlvula permet evacuar l'aire comprimit en cas de sobre pressió en el circuit d'aire aigües avall del compressor. A més s'aspira aire de l'exterior i s'envia cap al compressor per a refrigerar-lo tal i com es veu a la Figura 5.5.



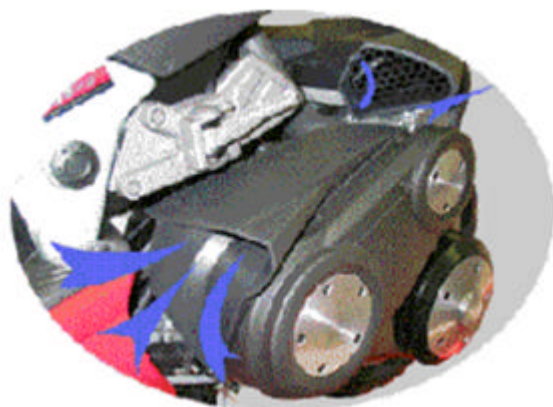


Fig. 5.5 Ventilació del compressor TFSI

[12]

Peugeot està desenvolupant una nova generació de motors sobrealimentats per compressor volumètric que proporcionen més par, un temps de resposta menor a l'acceleració i una recuperació més fresca, la qual cosa facilita la conducció urbana. Aquesta tecnologia ofereix una comoditat de conducció que normalment només es troba en motors de 250 cm³ o superior.

Aquest sistema entrega més parell motor a qualsevol règim i permet a més un millor compliment del motor inclús en condicions d'altura.



6. Sistema d'injecció de benzina per al 2T

6.1. Sistema electrònic de sincronització del cigonyal

Tot sistema d'injecció, requereix d'un tipus de sincronització entre el sistema i el moviment alternatiu del motor. Aquest sistema és el que li permet realitzar les aportacions de combustible en el moment precís. En l'actualitat, el tipus de sincronització més extens, és el de tipus electrònic.

En el cas del motor que ens ocupa, no es disposa de cap mecanisme similar. El que més s'aproxima és el sistema d'encesa ja que al conèixer que el motor només realitza una guspira per volta del motor i la realitza en un moment precís, tot porta a pensar que la senyal d'encesa és una bona candidata per a posicionar l'injector. Cal destacar també, que en el cas que això fos possible, el sistema seria de fàcil implantació en qualsevol motor, ja que tots requereixen d'encesa per al seu funcionament, evitant així la instal·lació d'un sensor addicional.

Al observar la senyal del circuit primari de la bobina d'encesa en l'oscil·loscopi, s'observa que aquesta està composta per dos pics per volta d'amplitud diferenciada. Doncs així el sistema electrònic només hauria de discernir entre els dos pics i ja tindríem un punt de referència.

A 4.000 rpm el pic petit arriba a 190 V i el gran a 200 V.

Després de realitzar diversos circuits de prova s'aconsegueix separar els dos pics. El problema s'origina quan el motor el distanciem del règim de funcionament de 4.000 rpm ja que llavors també varia l'amplitud dels pics, pujant el seu valor al baixar el règim i baixant al pujar-lo. Aquests canvis dificulten molt més la diferenciació dels dos pics desestimant per aquest motiu, aquesta possibilitat.

6.1.1. Sensor escollit

Aquest tipus de sensors, no requereixen d'alimentació exterior. El model utilitzat és el de la marca Magneti-Marelli Holding S.p.A. amb la referència: SEN 8K3 (Fig. 6.1). És del tipus



sortida del cable a 90° i la seva senyal de sortida es de tipus analògic, senyal que serà enviada al circuit de condicionament i processament .

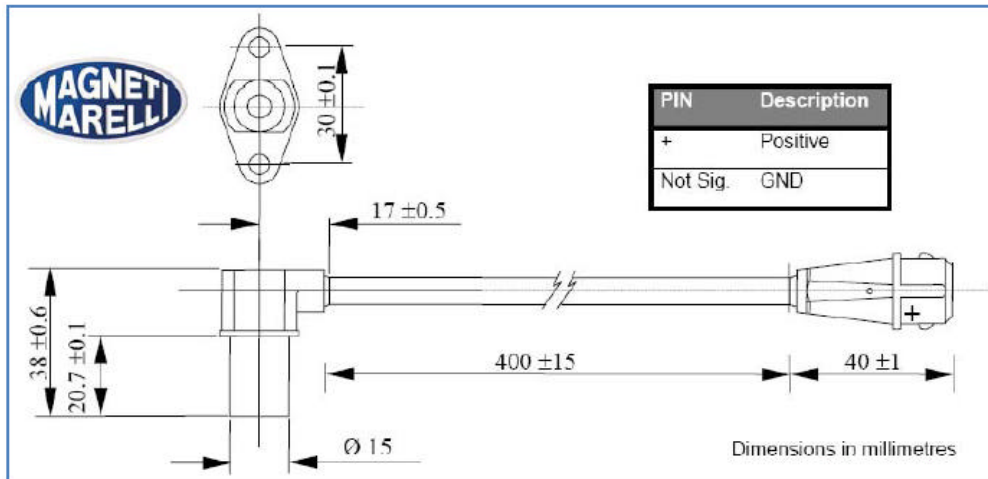


Fig. 6.1 Sensor inductiu Magneti-Marelli SEN 8K3 [13]

La forma de la senyal que emet és la que es mostra a la figura 6.18 superior.

Les seves característiques tècniques són:

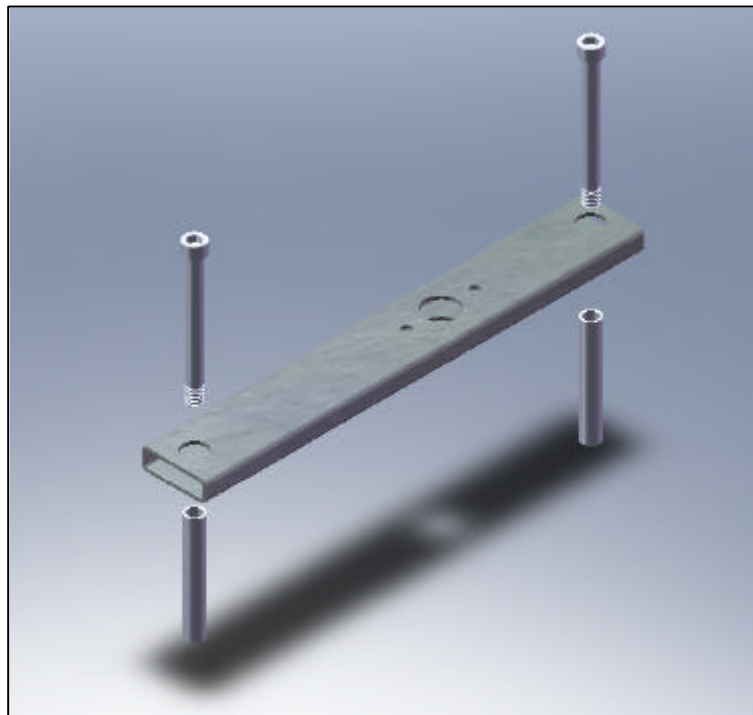
- Distància de funcionament: 0,5 a 1mm
- Rang de velocitat: 40 a 12.000 rpm
- Sortida a 40 rpm: >400 mV
- Temperatura màxima de funcionament: 125 °C

6.1.2. Suport del sensor

Amb l'ajut del programa SolidWorks, a la figura 6.2 s'observa la modelització a dimensions reals, del suport per al sensor inductiu que va incorporat al costat dret del càrter motor. Així s'utilitza el moviment giratori del volant magnètic per a la seva sincronització.



Aquest suport es compon d'una barra metàl·lica amb un orifici on es col·loca l'injector i un orifici a cada un dels seus extrems per on els cargols l'uneixen amb el càrter. Entre la barra suport i el càrter s'afegeix un tub que fa de passador separador i que manté el sensor a la distància necessària del volant magnètic. S'aprofita també uns orificis amb rosca que ja conté el volant magnètic, per a roscar un cargol que al passar per davant del sensor és el que dona la senyal desitjada. A aquest cargol s'hi incorporen dos arandel·les per garantir la distància de funcionament necessària pel funcionament del sensor.



*Fig. 6.2 Suport sensor inductiu modelitzat amb
SolidWorks*

Amb la posició aconseguida del sensor i el seu captador, sobté una senyal per volta del motor, sincronitzada a 45° després del FMS (Punt Mort Superior). D'aquesta manera queda prou angle de gir del motor per realitzar la injecció en qualsevol punt desitjat de funcionament, perdent només en els 45° , un tram que tampoc és vàlid, ja que correspon a el tram d'expansió del pistó.



En la figura 6.3 es pot observar com queda aquest suport un cop muntat en el motor.

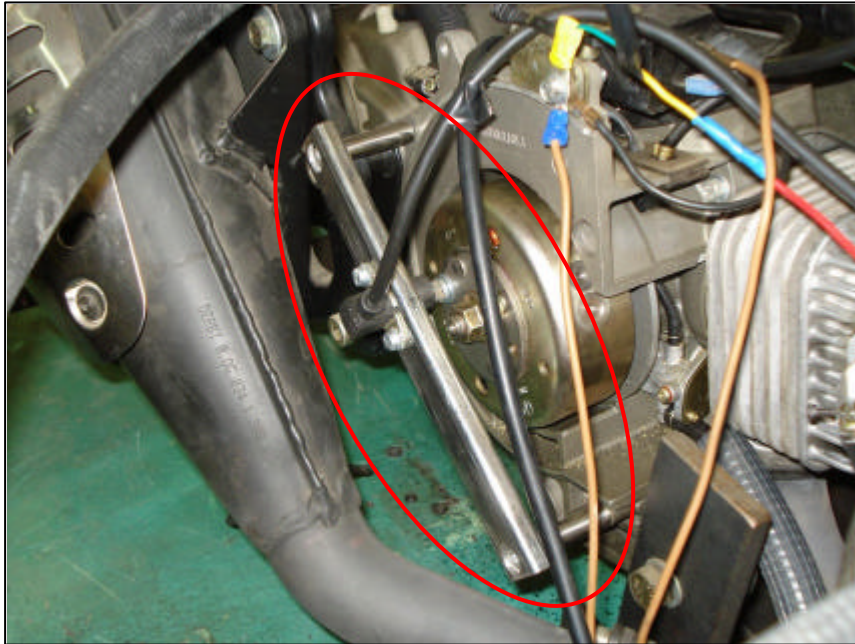


Fig. 6.3 Suport del sensor inductiu muntat en el motor

6.2. Electrònica de control de la injecció

Per al control de l'injector es requereix una senyal que s'activi en el moment en el que es desitja començar la injecció i que tingui una durada corresponent al temps que li permeti a l'injector, introduir en la cambra de combustió la benzina necessària per cada situació. L'electrònica creada per tal funció (Fig. 6.6), només fa ús d'una senyal que és la que prové del sensor inductiu i que s'utilitza com a referència, coneixent la seva posició. A partir d'aquí, l'electrònica s'encarrega d'atraçar el temps desitjat la senyal referència i produir a partir d'aquest retràs una senyal de durada prefixada.

Aquets dos graus de llibertat (retràs i durada de la senyal) s'aconsegueixen via dos potenciòmetre tal i com es veu en la figura 6.8.

Tot i que lesquema de l'electrònica (Fig. 6.6) es presenta com un sol sistema, en els següents apartats s'en distingeixen diverses parts.



6.2.1. Alimentació

Las motos estan proveïdes d'un sistema d'alimentació que incorpora una bateria. Aquesta bateria en la majoria dels casos (i en aquest en particular) treballa a una tensió de 12 V. Per tant i degut a que els components del circuit electrònic treballen a 5 V, és necessària una etapa d'alimentació que s'encarrega de la conversió dels 12 V a 5 V.

El component clau d'aquesta part, és el circuit integrat 7805CT del que s'en poden obtenir més detalls en l'Annex D.4.

6.2.2. Condicionament

La senyal provinent del sensor inductiu, que s'ha fet passar prèviament per un filtre que n'elimina les components no desitjades, ara s'envia a una porta inversora. Aquesta elimina la component negativa de la senyal deixant-la de forma quadrada. A més, al invertir-la, la deixa preparada per la següent etapa que s'activa per caiguda de la senyal.

6.2.3. Processament

De la etapa de condicionament sen obté una senyal quadrada compatible amb tecnologia TTL ja preparada per al seu processament. Aquesta etapa és la encarregada de atraçar la senyal i un cop activada donar-li el temps d'activació desitjat.

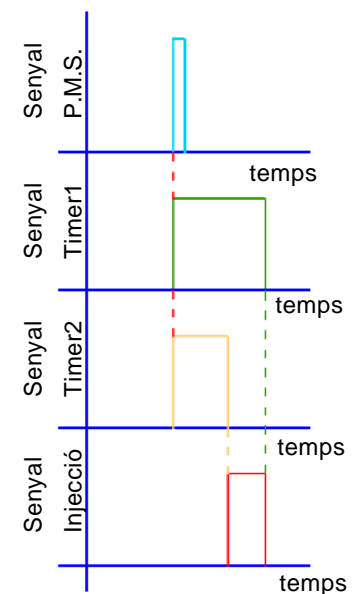


Fig.6.4 Senyals de processament [14]

El circuit principal d'aquesta tasca és el NE556. Aquest integra dos circuit independents del tipus comptador (del Anglès Timer). El que es fa és passar la senyal condicionada a cada branca d'aquest circuit. D'aquesta manera s'obtenen sortides independents fent coincidir el final de la primera senyal de sortida amb el inici de la injecció i el final de la segona senyal de sortida amb el fi de la injecció. D'aquesta manera i després d'un procés utilitzant electrònica lògica en el que a la senyal dos se li resta la primer, obtenim la senyal desitjada. La figura 6.4 mostra gràficament el procés.



La selecció del temps d'inici i de fi d'injecció, es realitza a través de dos potenciòmetres units electrònicament al NE556. El valor de resistència de tals potenciòmetres és de 500 KO i a estat escollit de tal manera que permeti dotar a la senyal del temps suficient per a injectar a un règim del motor de 1.000 rpm.

6.2.4. Controlador del injector

En aquest apartat s'utilitza un controlador de l'injector (del Anglès Injector Drive Controller) model LM1949. Es tracta d'un integrat del tipus pic i manteniment (del Anglès Peak & Hold), que degudament muntant en un circuit (Fig. 6.5 esquerra) que inclou un pont de transistors Darlington, controla la intensitat del corrent que ha de passar per l'injector per tal que aquest s'obri i es tanqui obeint la senyal processada.

El corrent que aquesta etapa proporciona al injector, te dos trams ben diferenciats (Fig. 6.5 dreta) d'aquí el se nom. Per una banda dona una intensitat de pic inicial que permet garantir l'obertura immediata del injector i de valor el triple que la etapa següent o de manteniment que només ha de mantenir l'injector obert.

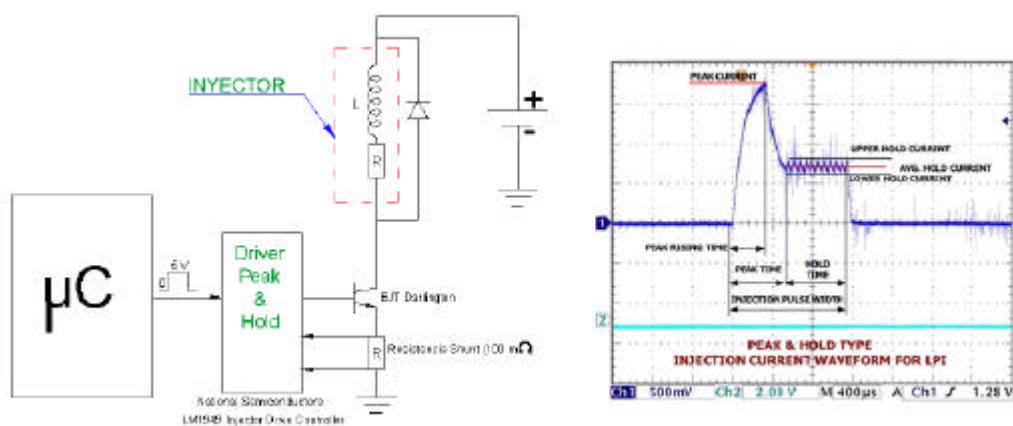


Fig. 6.5 Exemple circuit Peak & Hold a l'esquerra i gràfica intensitat/temps del Peak & Hold a la dreta [15]



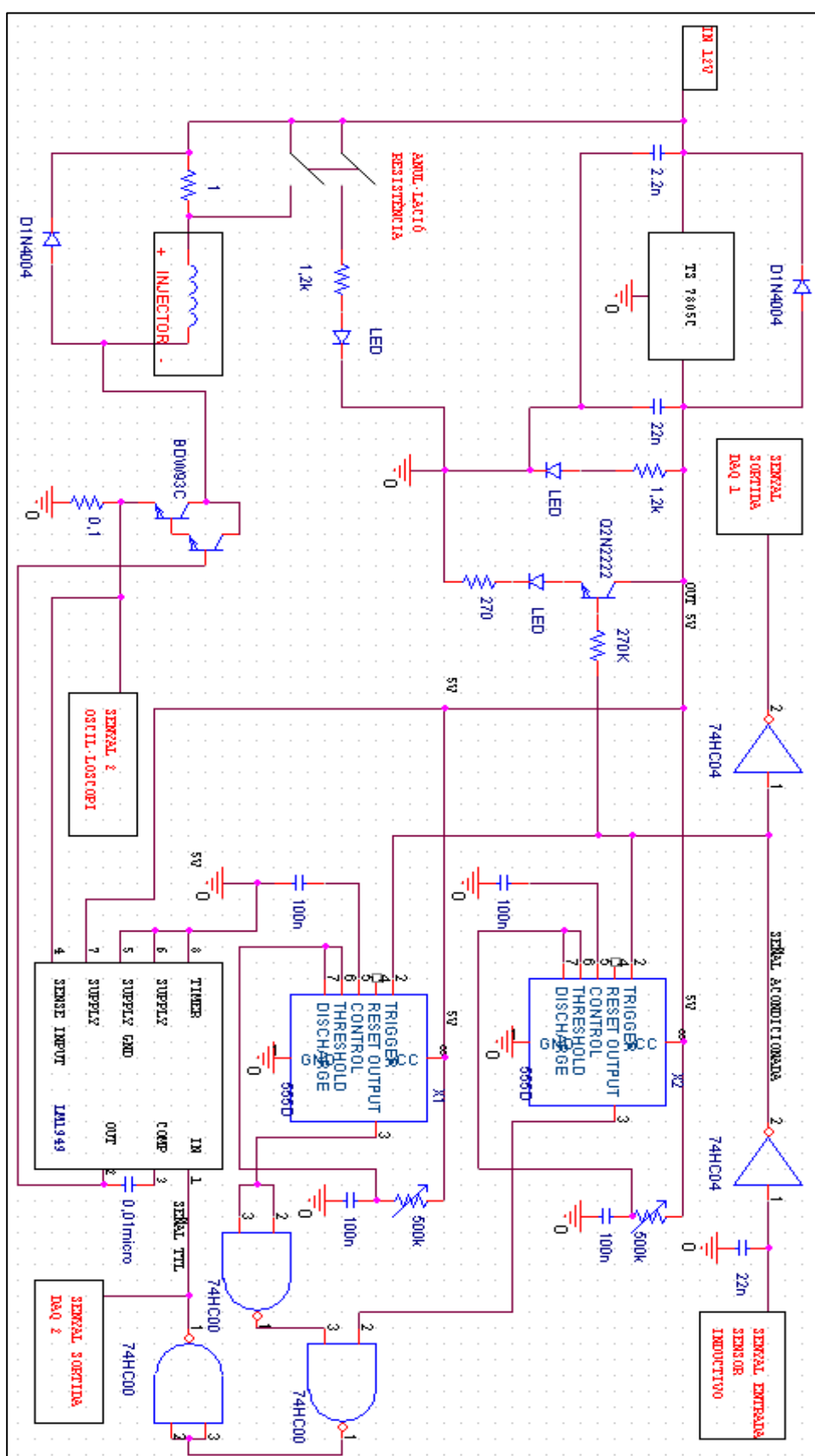


Fig. 6.6 Esquema electrònic del circuit de control de l'injector



6.3. Aparell de control del injector

Tota aquesta electrònica de control, ha estat muntada i encapsulada en una caixa (Fig. 6.7) de dimensions adequades, ubicant els elements de control i d'intercanvi d'informació d'una manera ergonòmica, formant així el que és l'aparell de control de l'injector.



Fig. 6.7 Aparell de control de l'injector

En la part superior de l'aparell (Fig. 6.8) es situen els dos potenciòmetres de control, un interruptor de l'alimentació, un interruptor d'anul·lació de la resistència d'un Ohm que es troba en sèrie amb el injector i tres leds indicadors de tensió d'alimentació, senyal i anul·lació resistència.

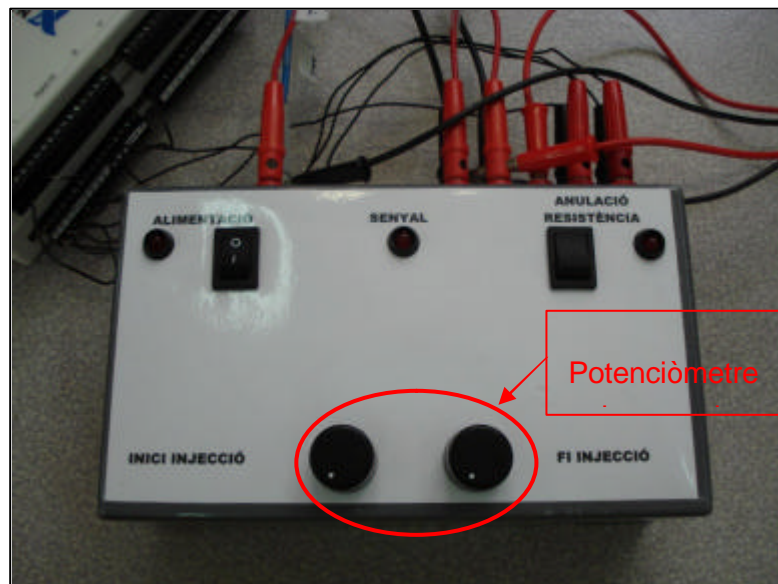


Fig. 6.8 Part superior de l'aparell de control de l'injector



Els potenciòmetres s'utilitzen per controlar el temps. El de l'esquerre controla el temps d'inici de la injecció i el de la dreta controla el temps del fi de la injecció. Ambdós funcionen igual, proporcionant més temps si es giren en sentit horari i menys en sentit oposat. Cal dir que si es fa treballar l'aparell amb algun d'aquests dos temps superior al període de gir del motor, l'aparell es col·lapsa, perdent alguns punts de injecció. Si s'arriba a aquest estat, només s'ha de disminuir els temps per que el sistema torni a un estat estable. Cal tenir present, tot i que sembla de sentit comú, que si el temps de l'inici es superior al temps del fi, la senyal resultant queda anul·lada.

En la part posterior de l'aparell (Fig. 6.9) es situen els connectors que permeten l'entrada i sortida de les senyals tan de control com de monitorització i l'entrada de l'alimentació.



Fig. 6.9 Part posterior de l'aparell de control de l'injector

A cada connector de senyal se li assigna una abreviatura i a continuació se'n explica el seu significat:

-D1: primera senyal de les dos que s'envien a la tarja NI USB-6210 (mòdul d'adquisició de dades DAQ de la firma National Instruments Corporation). Aquesta senyal correspon a la senyal conformada però invertida.

-D2: segona senyal de les dos que s'envien a la tarja NI USB-6210. Aquesta senyal correspon a la senyal processada.



-O1: primera senyal de les dos que s'envien al oscil·loscopi. Correspon a la intensitat del corrent que circula per l'injector, dividida entre 10. L'altre senyal del oscil·loscopi és directament la senyal del sensor inductiu.

-SP: senyal del sensor inductiu.

-SI: senyal de l'injector.

La caixa de l'aparell te uns orificis laterals (Fig. 6.10), que junt amb el ventilador que s'hi ha incorporat al interior, permeten la ventilació i la dissipació de la calor que desprenen els seus components electrònics.

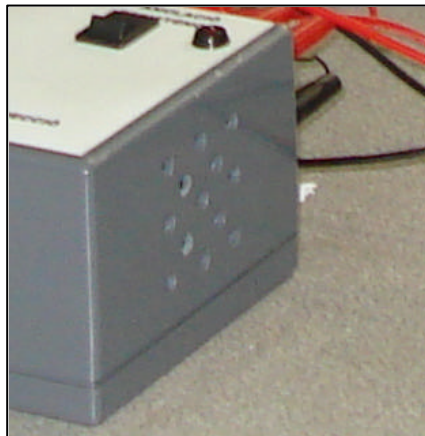


Fig. 6.10 Part lateral de l'aparell de control de l'injector amb els orificis de ventilació

Tots els components exteriors van acompanyats d'unes indicacions per escrit que fan de la utilització d'aquest aparell una tasca molt senzilla. A més el circuit electrònic s'ha dissenyat de tal manera que els circuits integrats i els components exteriors a la placa, puguin ésser intercanviats amb facilitat en el cas que algun d'aquets deixés de funcionar amb normalitat. El mateix passa amb la caixa exterior, que al ser independent del circuit (les unions dels cables no són per soldadura) podria ésser reemplaçada amb facilitat.



6.4. Injector

L'injector que equipa el sistema, és el mateix que els motors TFSI del grup Volkswagen. Es tracta del model HPI Valve HDEV 1.2 (Fig. 6.11). S'ha escollit aquest injector pel fet de que ha d'estar en contacte directe amb la cambra de combustió i per tant ha de suportar temperatures mol elevades. Al tractar-se d'un injector d'automoció (cilindrada elevada) esta preparat per la injecció de caudals elevats de combustible la qual cosa justifica els temps relativament breus d'injecció que el motor d'estudi (49 c.c.) requereix i que ja veurem en el capítol 7 d'aquesta memòria. La elecció d'aquest injector s'ha basat en que compleix tots els requisits necessaris i tenint pressent que no hi han injectors de dimensions més reduïdes dissenyats per a motors de tan poca cilindrada com és el cas.



Fig. 6.11 Injector HPI Valve HDEV 1.2

Aquest injector va connectat elèctricament a les connexions de la injecció que estan en l'aparell de control.

Es poden veure més propietats d'aquest injector en l'Annex C.



6.5. Culata amb injector incorporat

El injector ja va ésser modelitzat i fabricat en un projecte final de carrera anterior (Fig. 6.12 i Fig. 6.13).

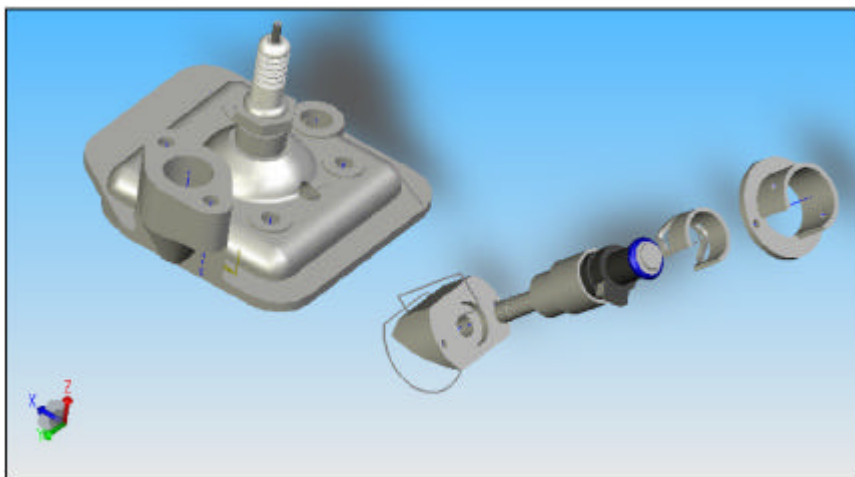


Fig. 6.12 Modelització amb sistema CAD de la culata amb injector [16]



Fig. 6.13 Culata amb injector



Per al muntatge de la nova culata, primer s'ha de treure la culata original. Al treballar amb un motor refrigerat amb aigua aquesta ha de ser evacuada prèviament a desmuntar cap peça del motor. Un cop buidat el circuit del refrigerant a través d'un cargol posat per a tal fi, es procedeix a l'extracció de la culata original. Per a l'extracció primer es treu el tub del refrigerant, després la bugia i seguidament les quatre femelles que subjecten la culata al cilindre. Un cop aquesta ja està desmuntada se li treuen les dues juntes tòriques que porta (una pròpia per a l'estanquitat de la cambra de combustió i una altre per l'estanquitat del circuit del refrigerant) i s'incorporen a la nova culata.

Seguidament es presenta la nova culata sobre el cilindre i s'embasten les quatre femelles que la fixaran junt amb les seves arandel·les respectives. Es procedeix cargolant les femelles amb creu per tal de que les peces no pateixin deformacions. Es connecta la bugia i el tub del refrigerant. S'introdueix el líquid refrigerant i ja queda el motor muntat (Fig. 6.14)

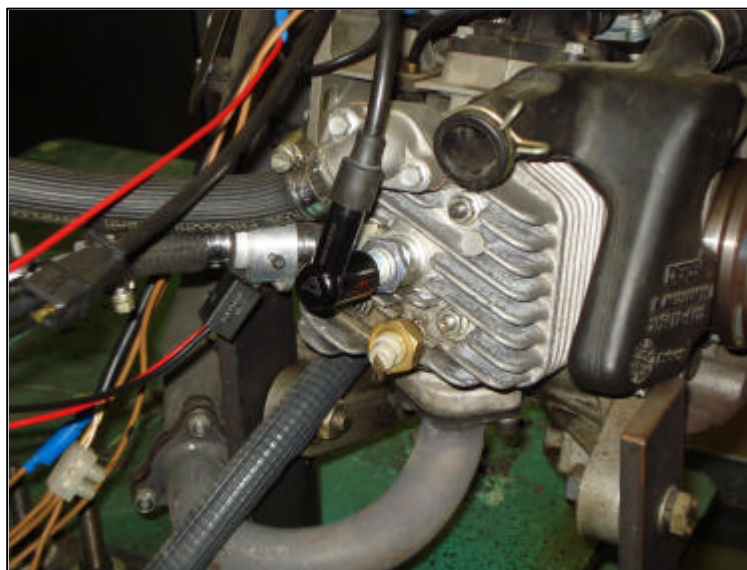


Fig. 6.14 Bloc motor amb culata e injector incorporat.



6.6. Sistema d'alimentació de combustible

Qualsevol sistema d'injecció requereix del combustible pressuritzat. Aquesta pressió és la que permet que l'injector tregui la benzina necessària pulveritzada i amb un temps relativament breu.

En la Figura 6.15 s'observa el sistema d'alimentació de combustible creat per a aquesta investigació, i s'especifiquen les seves parts més importants.

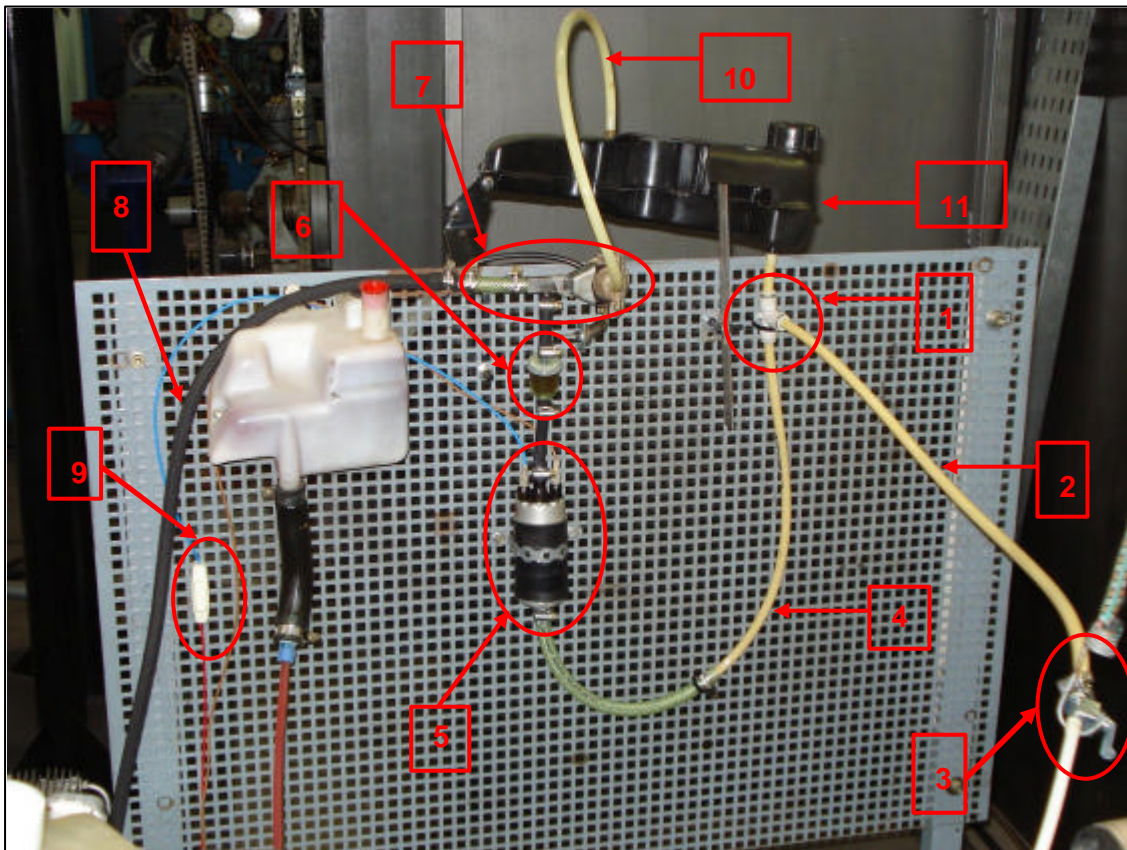


Fig. 6.15 Sistema d'alimentació de combustible

- 1 – T de derivació
- 2 – Alimentació del carburador
- 3 – Aixeta del carburador
- 4 – Alimentació de la bomba
- 5 – Bomba de pressió
- 6 – Filtre de benzina
- 7 – Regulador de pressió

- 8 – Conducte de combustible pressuritzat cap l'injector.
- 9 – Cables e interruptor de l'alimentació de la bomba
- 10 – Tub de retorn del regulador
- 11 – Dipòsit de la benzina



6.6.1. Regulador de pressió

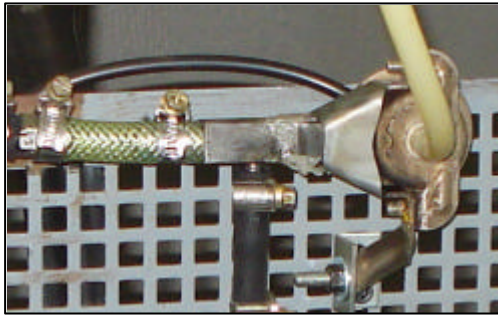


Fig. 6.16 Regulador de pressió

Es tracta d'un regulador de pressió de benzina a 2,5 bars del model d'automòbil 405 de la marca Peugeot, amb rampa per a 4 injectors que regula per mitjà d'una membrana i una molla calibrada. Per l'adaptació al circuit utilitzat s'ha conservat l'entrada de combustible original i s'ha soldat un connector de la mida del tub de la bomba en l'orifici d'un dels injectors. la resta d'orificis han estat eliminats. El resultat final és el de la figura

6.16.

6.6.2. Filtre de combustible

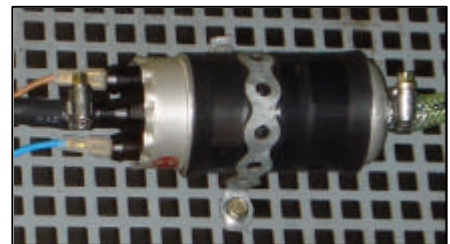


*Fig. 6.17 Filtre
combustible*

Es tracta d'un filtre de combustible (Fig. 6.17) de dimensions reduïdes habitual en motociclisme. La seva funció és la de filtrar la benzina que es fa circular pel seu interior retenint les partícules que podrien obstruir i per tant espatllar l'injector.

6.6.3. Bomba de combustible

La benzina requereix d'una certa pressurització per a poder esser injectada dins la cambra de combustió. Un dels motius és que en el recinte motor el pistó ja exerceix pressió i per introduir-hi el combustible aquest ha d'estar a una pressió superior. L'altre motiu és que es requereix introduir la benzina en un període de temps el més petit possible i aquesta a d'introduir-se polvoritzat per



*Fig. 6.18 Bomba de
combustible*



facilitar la mescla amb l'aire i la seva posterior combustió. L'encarregada de proporcionar aquesta pressió és la bomba de combustible (Fig. 6.18) i la utilitzada en aquest cas és un model de bomba rotativa de baixa pressió d'ús estàndard en els automòbils de la marca Volkswagen. S'alimenta de corrent contínua a 12 V i la seva sortida de combustible és a una pressió superior a 2,5 bars.

6.6.4. Funcionament del sistema d'alimentació de combustible

El dipòsit de benzina (11 Fig. 6.15), conté benzina 95 Octans sense plom que el motor necessita pel seu funcionament. La benzina que surt del dipòsit va a una derivació en forma de T (1 Fig. 6.15) on el combustible pot prendre dues branques. La primera (2 Fig. 6.15), és la que alimenta el carburador si l'aixeta (3 Fig. 6.15) està en la posició oberta (mànec orientat en la mateixa direcció que el tub). La segona branca (4 Fig. 6.15), és la que alimenta la bomba de benzina (5 Fig. 6.15) don aquesta en surt pressuritzada cap el filtre (6 Fig. 6.15). El filtre s'encarrega de filtrar el combustible atrapant les partícules indesitjables i evitant d'aquesta manera l'obstrucció de l'injector. Del filtre, el combustible va al regulador de pressió (7 Fig. 6.15), el qual garanteix que la benzina del conducte de la injecció (8 Fig. 6.15) es mantingui a 2,5 bars de pressió, enviant l'excedent altre cop al dipòsit a través de (10 Fig. 6.15).

La bomba està alimentada elèctricament per el cable blau de 12 V positiu i el marron que és massa. El interruptor 9 de la figura 6.15, permet la connexió i desconexió manual de la bomba per si el motor ha de funcionar amb carburador o amb injector. D'altre banda l'alimentació de la bomba també està connectada al interruptor d'emergència situat al panell frontal del banc.

6.7. Monitorització de les senyals

Quan es realitzen proves d'injecció a partir d'un punt de referència és molt important conèixer quina es la situació actual de la senyal del injector, tant per conèixer quan s'està injectant com la durada d'aquest procés.

La importància de saber quan s'està injectant recau en dos fets. El primer és que es requereix aquesta informació per poder conèixer en quin punt del diagrama motor s'està produint la injecció (trànsfert d'escapament obert o tancat, etc.). El segon és per tal



d'evitar la injecció quan en la cambra ja s'està produint la combustió i els perills que això implica.

En aquesta investigació s'utilitzen dos modes diferents de monitorització que s'expliquen tot seguit amb més detall.

6.7.1. Monitorització per oscil·loscopi

Dels dos mètodes és el més precís i el que s'utilitza per a recopilar les dades en el moment de realitzar les proves. Per al anàlisis s'utilitzen dos senyals. La primera és la senyal del sensor inductiu i la segona és la senyal que es troba com a tal en l'aparell de control de l'injector i que mostra la intensitat del corrent de l'injector dividida entre 10.

Tot i que aquest mètode del qual sen pot observar un exemple en la Figura 6.19, és poc intuïtiu pel fet de treballar només en l'escala del voltatge i el temps i no permetre la visualització directe d'en quin punt del diagrama motor s'està realitzant la injecció, té molta importància gràcies a la seva precisió.

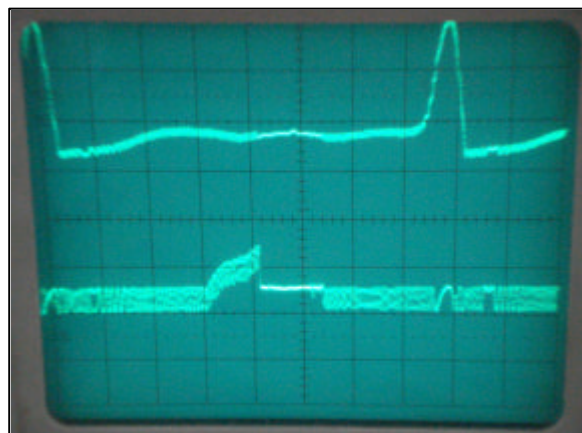


Fig. 6.19 Imatge en oscil·loscopi de la senyal del sensor inductiu (la superior) i de la senyal de injecció (la inferior) amb el motor girant a 3750 rpm. i un temps d'injecció de 4,8ms.

Per interpretar en aquest mètode la posició del inici i el fi de la injecció dins el diagrama motor, s'ha creat una taula 6.1 que reuneix la informació necessària i que té en compte que la senyal del sensor s'origina 45° de gir del motor després del PMS.



Graus de gir del motor respecte el P.M.S. i absoluts								
Temps (ms)	R.P.M.	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
1	Inici injecció	51	54	57	60	63	66	69
	Durada injecció	6	9	12	15	18	21	24
2	Inici injecció	57	63	69	75	81	87	93
	Durada injecció	12	18	24	30	36	42	48
3	Inici injecció	63	72	81	90	99	108	117
	Durada injecció	18	27	36	45	54	63	72
4	Inici injecció	69	81	93	105	117	129	141
	Durada injecció	24	36	48	60	72	84	96
5	Inici injecció	75	90	105	120	135	150	165
	Durada injecció	30	45	60	75	90	105	120
6	Inici injecció	81	99	117	135	153	171	189
	Durada injecció	36	54	72	90	108	126	144
7	Inici injecció	87	108	129	150	171	192	213
	Durada injecció	42	63	84	105	126	147	168
8	Inici injecció	93	117	141	165	189	213	237
	Durada injecció	48	72	96	120	144	168	192
9	Inici injecció	99	126	153	180	207	234	261
	Durada injecció	54	81	108	135	162	189	216
10	Inici injecció	105	135	165	195	225	255	285
	Durada injecció	60	90	120	150	180	210	240
Graus de gir del motor respecte el P.M.S. i absoluts								
Temps (ms)	R.P.M.	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500
1	Inici injecció	72	75	78	81	84	87	90
	Durada injecció	27	30	33	36	39	42	45
2	Inici injecció	99	105	111	117	123	129	135
	Durada injecció	54	60	66	72	78	84	90
3	Inici injecció	126	135	144	153	162	171	180
	Durada injecció	81	90	99	108	117	126	135
4	Inici injecció	153	165	177	189	201	213	225
	Durada injecció	108	120	132	144	156	168	180
5	Inici injecció	180	195	210	225	240	255	270
	Durada injecció	135	150	165	180	195	210	225
6	Inici injecció	207	225	243	261	279	297	315
	Durada injecció	162	180	198	216	234	252	270
7	Inici injecció	234	255	276	297	318	339	360
	Durada injecció	189	210	231	252	273	294	315
8	Inici injecció	261	285	309	333	357	381	405
	Durada injecció	216	240	264	288	312	336	360
9	Inici injecció	288	315	342	369	396	423	450
	Durada injecció	243	270	297	324	351	378	405
10	Inici injecció	315	345	375	405	435	465	495
	Durada injecció	270	300	330	360	390	420	450

Taula 6.1 Taula de conversió a graus de gir del motor respecte PMS
(Inici injecció) i absoluts en funció de les rpm. i el temps en ms.



Per a fer la conversió de temps a graus, el que s'ha de fer es mesurar el temps en la pantalla del oscil·loscopi i seguidament utilitzar la taula. Per exemple si es tenen 5 ms. des de la senyal del sensor inductiu fins al inici de la injecció i el motor està a un règim de 4.000 rpm, la injecció s'està produint a 165° després del PMS. Si continuant amb l'exemple tenim una senyal d'injecció de 2 ms de durada estem injectant 48° en total, que més els 165° fan 213° del fi de la injecció respecte el PMS. Pel cas de valors d'entrada a la taula no expressats directament en aquesta, es pot procedir a extrapolar o interpolar segons escaigui.

6.7.2. Monitorització per ordinador

Es tracta d'un mètode molt intuïtiu en el que es visualitza gràficament la posició del inici i el fi de la injecció, la durada d'aquesta, el temps que resta des de el fi fins a l'encesa i les rpm. Per a poder dur a terme aquest tipus de monitorització es requereix d'un mòdul d'adquisició de dades, un PC i un programa que n'interpreti aquestes dades i ens les mostri a la conveniència del usuari.

6.7.3. Tarja NI USB-6210

Per a transmetre la informació des de l'aparell de control del injector fins al ordinador s'utilitzen dos mòduls d'adquisició de dades (Fig. 6.20) del tipus NI USB-6210.

Aquesta tarja de la firma National Instruments, és un mòdul d'adquisició de dades (DAQ) multi funció de la sèrie M que es comunica amb el PC a través del bus USB.

La comunicació entre els sensors i la tarja es realitza per mitja de terminals de cargol.

A la tarja si fan arribar les senyals de l'aparell de control abreviades com D1 i D2 i que corresponen a la senyal condicionada després d'invertir-la i la senyal processada respectivament. El problema d'aquest tractament recau en la utilització d'aquest mateix mòdul en combinació amb un PC el qual en disminueix les seves prestacions perdent eficàcia i precisió. És per aquest motiu que només s'utilitza el mètode per a tenir una referència gràfica del que s'està fent.



Les característiques d'aquesta tarja són:

- 16 entrades analògiques
- Resolució de 16 bits per a les entrades analògiques
- 250 KS/s (milers de mostres per segon) velocitat màxima de mostreig
- 4 entrades digitals
- 4 sortides digitals
- 2 contadors



Fig. 6.20 Tarja NI USB-6210

6.7.4. PC

Tot i que es coneix l'existència d'aparells de control professionals que posseeixen el seu propi processador i que són d'altres prestacions, per motius econòmics s'utilitza un ordinador de sobre taula per al processament de les dades. Aquesta és la via econòmica de realitzar aquest projecte. Les seves característiques són:

- Processador Intel Pentium 4 a 2,66 GHz
- 1Gb DDR SDRAM
- Sistema operatiu Windows® XP

Al funcionar el PC sota el sistema operatiu Windows® XP i al ser aquest OS (

Sistema Operatiu) multitasca, la sincronització del sistema es poc fiable.



6.8. Llenguatge de programació

El llenguatge utilitzat és el llenguatge de programació G. Es tracta d'un llenguatge de fàcil programació ja que no es basa en el tex sinó que representa la lògica del programa a través de diagrames. A aquest tipus de programació se l'anomena programació visual i per a aquest projecte s'utilitzarà el programa LabVIEW™. Es tracta d'una eina gràfica utilitzada amb freqüència en el món de l'enginyeria com a adquisició de dades, control d'instruments i automatització industrial. S'aconsella al lector mirar manual de programació de LabVIEW™ [17] ja que en la memòria no es fa introducció al seu llenguatge. D'altra banda no es requereix massa coneixements del llenguatge G per a la comprensió del algoritme realitzat.

Els programes creats amb aquest tipus de llenguatge s'anomenen VI (Instruments Virtuals). Aquests presenten dos components: el Front Panel (Panell frontal) que es la interfase amb l'usuari i el Block Diagram (Diagrama de blocs) que conté el codi gràfic que defineix les funcions del VI. És per aquest motiu que quan es descriu l'algoritme del programa es descriu el Block Diagram.



6.8.1. Descripció del algoritme

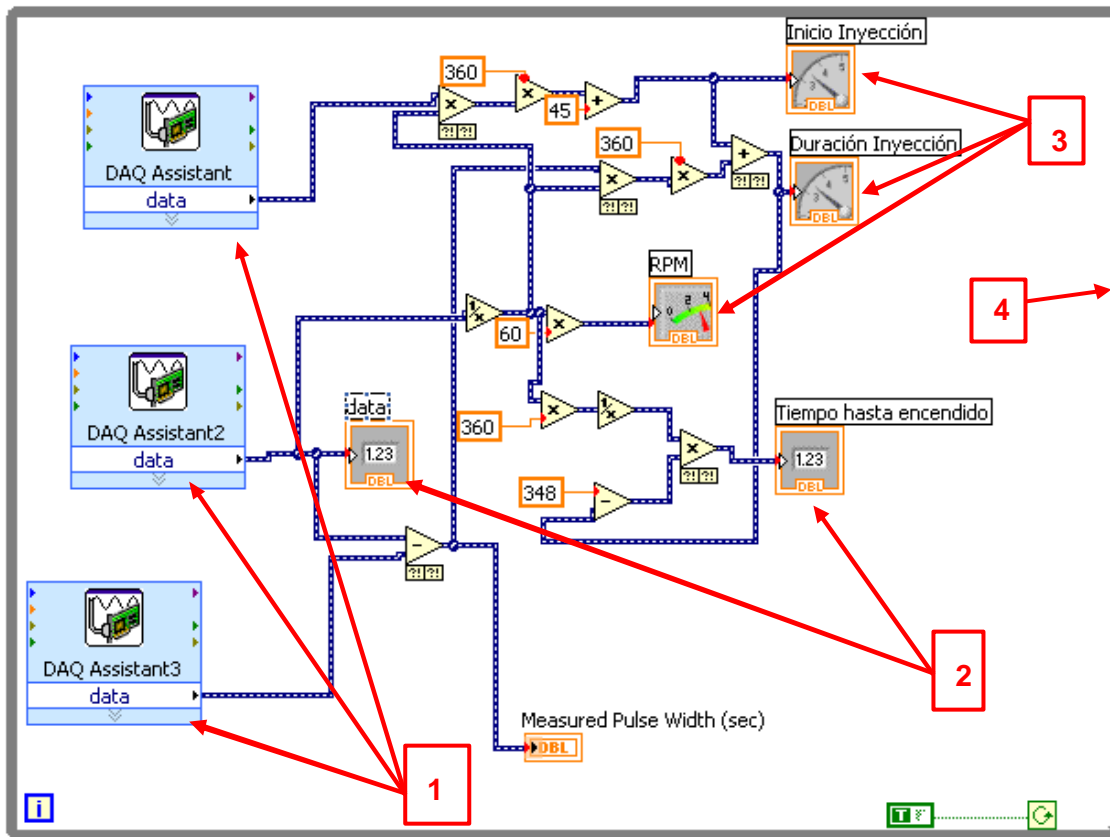


Fig. 6.21 Block Diagram complet de la monitorització per ordinador

1 – DAQ: entrada de les dades per comptador digital.

2 – Indicadors numèrics.

3 – Indicador gràfics.

4 – Llaç d'execució: tot el que està en el seu interior es repetirà fins que es pari el programa.

a) Inici injecció

Les senyals obtingudes del aparell de control del injecció, són enviades al ordinador per mitjà de comptadors digitals que les pròpies targetes DAQ contenen. Aquestes s'introdueixen a l'algoritme per mitjà de la funció d'adquisició de dades (DAQ Assistant) que s'observa en 1 de la figura 6.21.



Per calcular els graus de l'inici de la injecció, el que es fa es agafar el temps de retard entre el pols del sensor i el inici de la injecció i multiplicar-lo per les revolucions per segon del motor, així s'obté la porció de volta recorreguda. Aquesta volta es converteix a graus i se li sumen els 45° de desfasament que hi ha entre el sensor i el PMS.

b) Fi injecció

El procediment és idèntic que el del apartat anterior però el temps que es converteix a graus, és el temps de durada de la injecció. A els graus obtinguts se li sumen els graus d'inici de la injecció i s'obtenen el de fi.

c) RPM

Del DAQ 2 s'en obté el període de les senyals d'entrada que es converteix a freqüència i les unitats de temps a minuts. La senyal obtinguda és la representada en l'indicador gràfic de les rpm (1 Fig. 6.22 a).

d) Temps d'injecció

S'obté de restar al període de les senyals, el temps de retard de l'inici de la injecció.

e) Temps fins a l'encesa

Consisteix en restar dels 360° d'una volta motor, els graus de posicionament del fi de la injecció i del resultat restar el 18° que l'encesa s'avança respecte el PMS. Un cop es té aquest resultat, s'utilitzen les revolucions per segon per passar els graus a temps i el resultat es representa en l'indicador numèric de temps fins a l'encesa (5 Fig. 6.22 a).



6.8.2. Panell frontal

Tot programa de monitorització requereix una comunicació amb l'usuari per tal de que aquest pugui visualitzar els resultats obtinguts. El Front Panel (panell Frontal) és la interfase que s'encarrega d'aquesta comunicació amb l'usuari. En la figura 6.22 a es visualitza el Front Panel del programa utilitzat en estat de repòs i en la figura 6.22 b és visualitza el mateix Front Panel però activat amb el motor funcionant a 4.000 rpm, un pols de injecció de 1,9 ms, un inici de la injecció de 230°, un fi de la injecció de 275,6° i un temps fins a l'encesa de 2,9 ms.

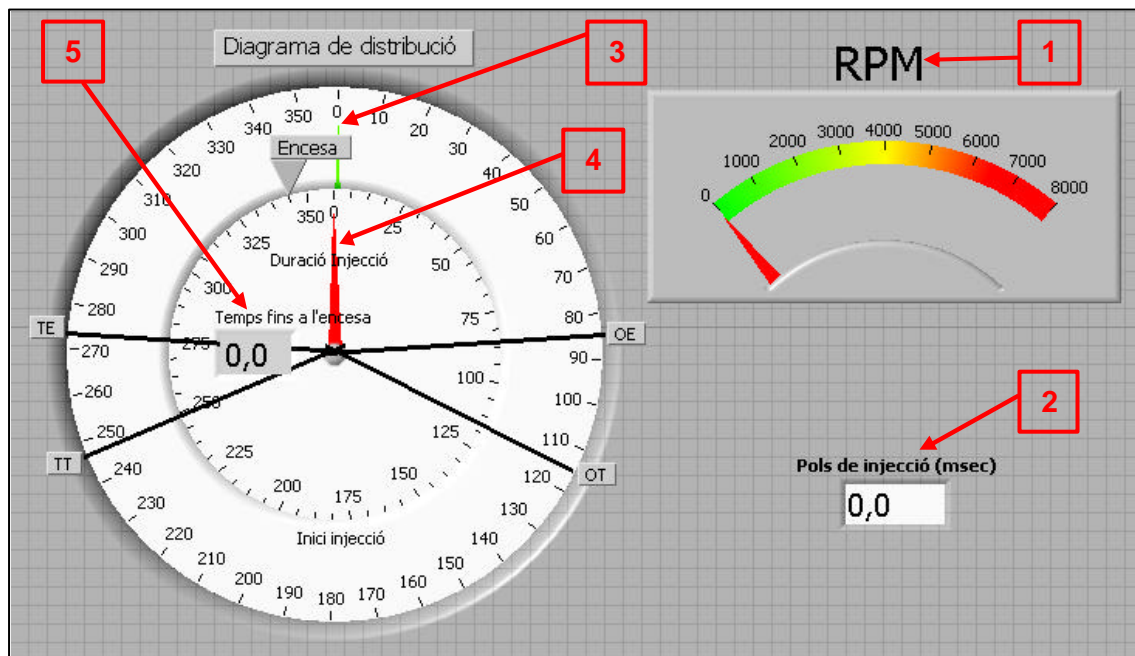


Fig. 6.22 a Front Panel del VI utilitzat

- 1 – rpm: Visualització del règim motor en revolucions per minut
- 2 – Indicació de la durada de la injecció en ms
- 3 – Rel·lotge de indicació dels graus de inici de injecció
- 4 – Rel·lotge de indicació dels graus de fi de injecció
- 5 – Indicació del temps que resta fins a l'encesa en ms



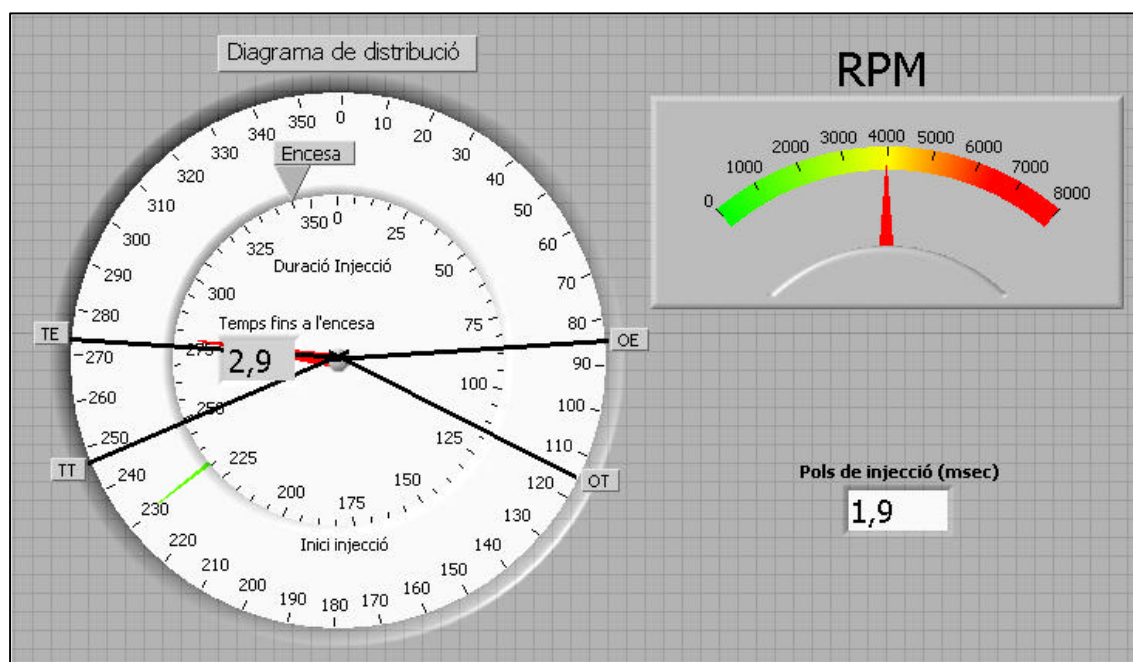


Fig. 6.22 b Front Panel del programa utilitzat, amb el motor funcionant a 4000 rpm., un puls de injecció de 1,9 ms, un inici de la injecció de 230 graus, un fi de la injecció de 275,6 graus i un temps fins a l'encesa de 2,9 ms.





7. Proves

7.1. Estació de treball

Tan el banc de proves utilitzat per la investigació com el motor que aquest munta junt amb els sistemes necessaris per al seu funcionament en mode normal, són fruit d'un projecte fi de carrera realitzat anteriorment en el mateix laboratori i consultat per el propi autor [18].

El motor es troba instal·lat en la bancada del banc de proves per a arrastrar el fre dinamomètric. La unió entre ambdós es realitza per mitjà d'una transmissió formada per dues components (Fig. 7.6). La primera d'aquestes es fixa al fre amb cargols i la segona es fixa al motor per mitjà del estriat del eix esquerre del cigonyal. S'incorporen uns topalls de goma entre les dos per amortir les vibracions.

Per aconseguir una autèntica alineació entre l'eix del fre i el del cigonyal, es fa us dels ajustadors de la bancada que tenen llibertat de moviment en totes les direccions, permeten modificar la posició del motor. Utilitzant un palpador muntat al banc i palpant el fre, es coneix quan es te la posició idònia de funcionament, aconseguint una variació de distància entre ambdós eixos de $\pm 0,06\text{mm}$.

Al tenir la unió entre el motor i el fre fixa, es requereix d'un sistema per arrancar el motor, que pugui realitzar un parell elevat. Per a tal fi, es disposa d'un motor elèctric amb transmissió per corretja que engrana al fre dinamomètric pel costat oposat al motor tèrmic. Aquest engranatge s'acobla al fre a través d'un actuador neumàtic quan es desitja activar el seu funcionament i transcorreguda 4 segons un temporitzador activa el motor.

El motor disposa pel seu funcionament, d'un dipòsit d'oli lubricant específic per motors de dos temps, ubicat en el panell vertical junt amb tot el circuit d'alimentació de combustible.

El circuit refrigerant, que consta d'un radiador i un dipòsit d'expansió del líquid refrigerant, està situat en la mateixa bancada del banc per a millorar la seva eficiència, i un ventilador que simula el moviment del ciclomotor, ajuda a intercanviar el calor amb l'ambient.

L'alimentació de la benzina tal i com s'explica a l'apartat 7.4 es pot dur a terme a través del carburador o a través de l'injector. En el cas de voler utilitzar un o altre sistema, només



s'ha de fer la desconexió de l'altre, que pel injecció es dura a terme per l'interruptor de la bomba o pel carburador tancant l'aixeta del combustible que ve del dipòsit.

7.1.1. Gasos d'escapament

Actualment, la contaminació ha esdevingut la característica més important del funcionament de qualsevol motor. En l'estació de treball es disposa d'un aparell de la marca Motoplat (6 Fig. 7.2) que s'encarrega d'analitzar els gasos producte de la combustió del motor amb el que es treballa.

A la figura 7.1 S'observa com una obertura incorporada en el sistema d'extracció dels gasos, fa arribar mostra d'aquests cap a l'aparell d'anàlisi que té una bomba de succió incorporada

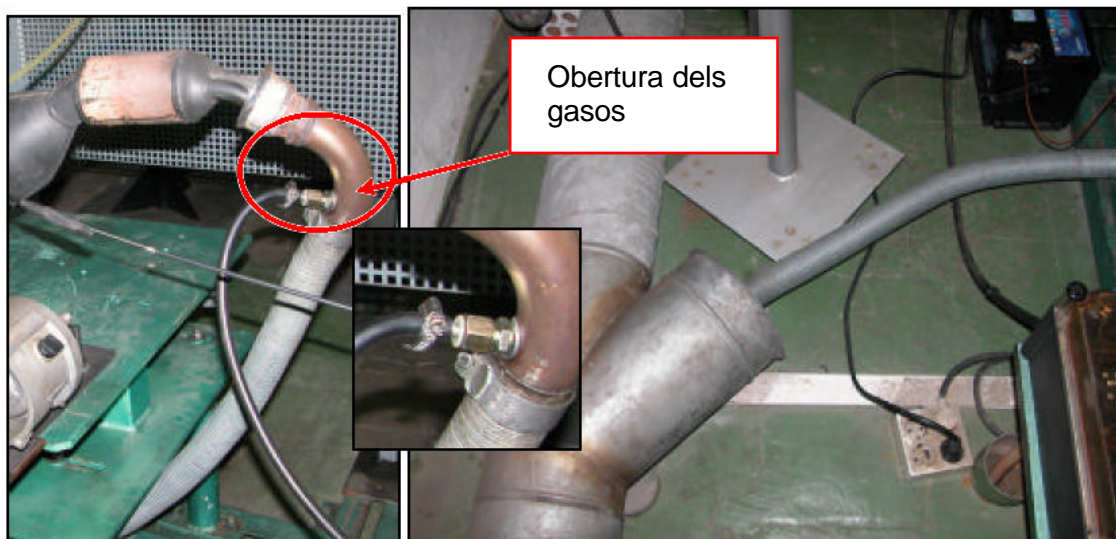


Fig. 7.1 Sistema d'escapament dels gasos i sonda per al seu anàlisi

Com les proves es realitzen a l'interior del laboratori de motors tèrmics, s'extreuen els gasos a l'exterior del edifici, mitjançant un tub connectat a una xemeneia.



7.1.2. Sistema de control

A la figura 7.2 s'observa tot el panell de control del sistema.

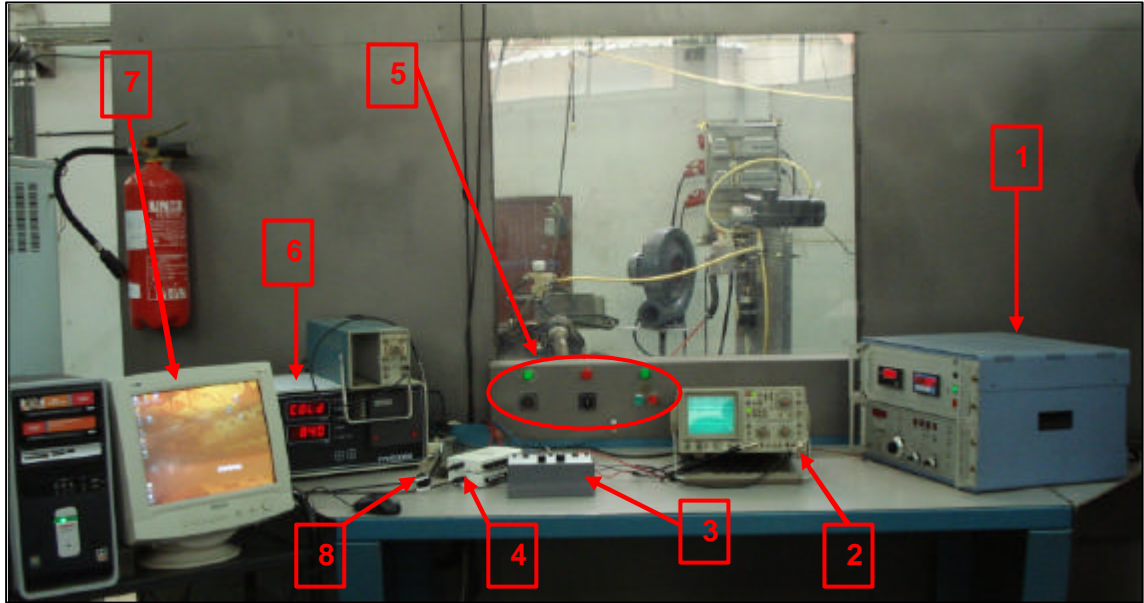


Fig. 7.2 Panell de control del sistema

- 1 – Control del fre dinamomètric.
- 2 – Oscil·loscopi.
- 3 – Aparell de control del injector.
- 4 – DAQ
- 5 – Interruptor general, del motor d'engegada i polsador de seguretat.
- 6 – Anàlisi dels gasos.
- 7 – PC.
- 8 – Control de l'obertura del carburador.

L'aparell 1 mostrat a la figura 7.2 de control del fre dinamomètric, permet visualitzar en la part superior tan les rpm com el valor del parell motor entregat per aquest en cada situació. La part inferior s'utilitza en la posició de $N=K$ (regim de gir del motor constant) i per mitjà de la rodeta de selecció ens permet ajustar les rpm desitjades.

La resta de components d'aquest sistema ja han estat o seran detallats en altres seccions.



7.1.3. Sistema de seguretat

El controlador del fre dinamomètric disposa d'un sistema de seguretat que talla l'encesa del motor, per parar-lo en cas que el fre es quedi sense refrigeració, la temperatura del seu nucli superi un valor de seguretat o que les rpm superin un valor prefixat en el propi controlador. Aquesta és una mesura automàtica del banc de proves per tal de no malmetre'l.

D'altre banda es disposa en el sistema de control, d'un polsador per parada del motor, que tan s'utilitza en situacions d'emergència com per la seva parada convencional. Mirar figura 7.2 per a millor comprensió. També es disposa a ambdues parts del sistema de control, d'un extintor de foc.

7.2. El Motor d'estudi

Per a fer la investigació s'utilitza un motor ja present en el laboratori de motors tèrmics de l'escola d'Enginyers. Es tracta d'un motor de ciclomotor de la marca Derbi model Predator (Fig. 7.3) del que se'n donen més detalls a continuació:

Motor:	Monocilíndric de dos temps
Refrigeració:	Aigua
Cilindrada:	49cc
Compressió:	11:1
Distribució:	Per làmines
Alimentació:	Carburador
Avanç de l'encesa:	18° A.P.M.S.
Bugia:	NGK B9ES o Champion N2C
Carburant:	Benzina súper sense plom 95 octans
Regim de gir:	de 1.000 a 7.500 rpm





Fig. 7.3 Model Predator de la firma Derbi

Aquest motor va esser cedit en el seu moment per la pròpia empresa Derbi, al utilitzar les instal·lacions de l'escola per unes proves amb el mateix. La introducció de l'oli de lubricació es realitza per separat del combustible en un dipòsit destinat a tal efecte. La introducció del lubricant al motor es du a terme per una bomba rotativa que es regeix per les revolucions del motor.

El funcionament d'un motor de dos temps està molt sotmès al seu diagrama de distribució tal i com s'ha indicat en el apartat 4.3. Aquest motor utilitza un diagrama de distribució simètric i és per aquest motiu que està afectat pel curtcircuit.

Per conèixer la geometria de la distribució es procedeix al desmuntatge de la culata i a descobrir la part dreta del motor deixant el volant magnètic a la vista. Seguidament es situa el pistó al PMS fent girar el volant magnètic i es realitza una marca al volant que identifiqui aquesta posició. A continuació es gira el volant fins que es comença a visualitzar la primera part del trànsfert d'escapament. Es en aquest punt on es mesura l'angle girat per el motor respecte el PMS. Per a mesurar l'angle de gir del trànsfert de



càrrega es continua baixant el pistó fins que el trànsfert es comença a visualitzar. Es en aquest punt on s'ha de prendre nota.

Els resultats obtinguts són:

Angle de gir del escapament: $87,27^\circ$

Angle de gir de la càrrega: $114,55^\circ$

Els valors obtinguts s'observen en el diagrama de distribució de la figura 7.4.

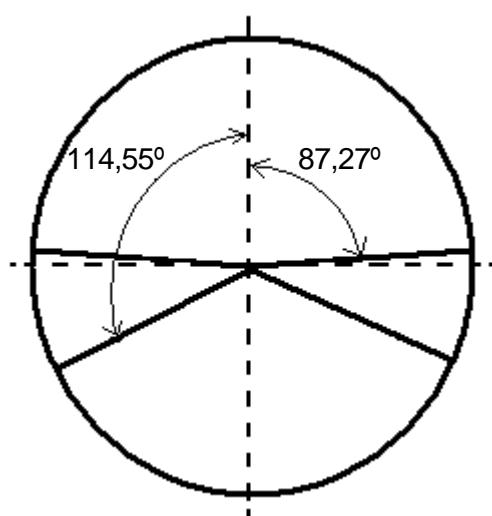


Fig. 7.4 Diagrama de distribució Derbi Predator

Esquema elèctric del motor en la figura 7.5 amb localització dels components utilitzats.



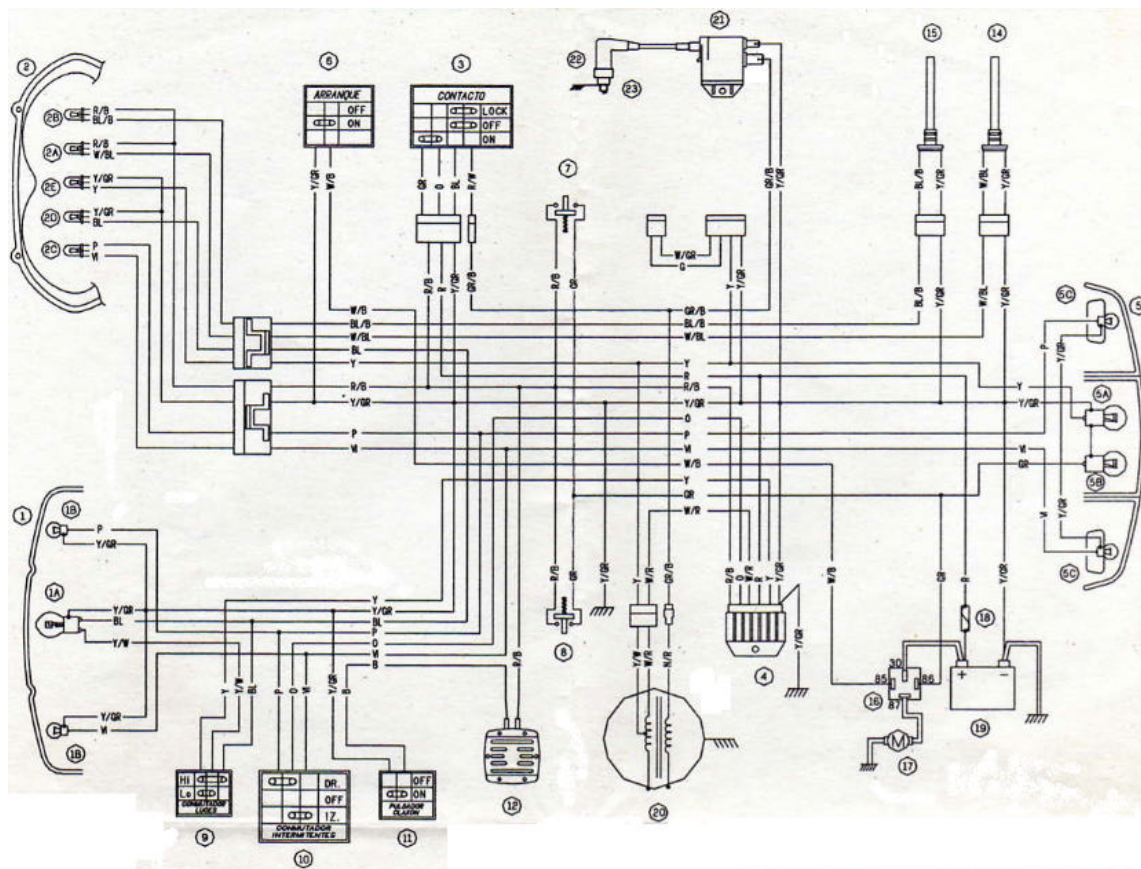


Fig. 7.5 Esquema elèctric de la Derbi Predator

- 4 – Regulador AC/DC més central del intermitents
- 20 – Volant magnètic 12V 80W
- 21 – Bobina d'alta tensió
- 22 – Pipa antiparasitària
- 23 - Bugia



7.3. Posta a punt inicial de l'estació de treball

A conseqüència de la no utilització i del desgast dels materials, ha esta necessària la reparació o millora de les parts esmenades a continuació:

1 - Substitució de les gomes ubicades entre les dos peces de la transmissió que uneixen el motor amb el fre motor, pel fet d'estar trencades i haver perdut la seva propietat d'esmoreïment de les vibracions.

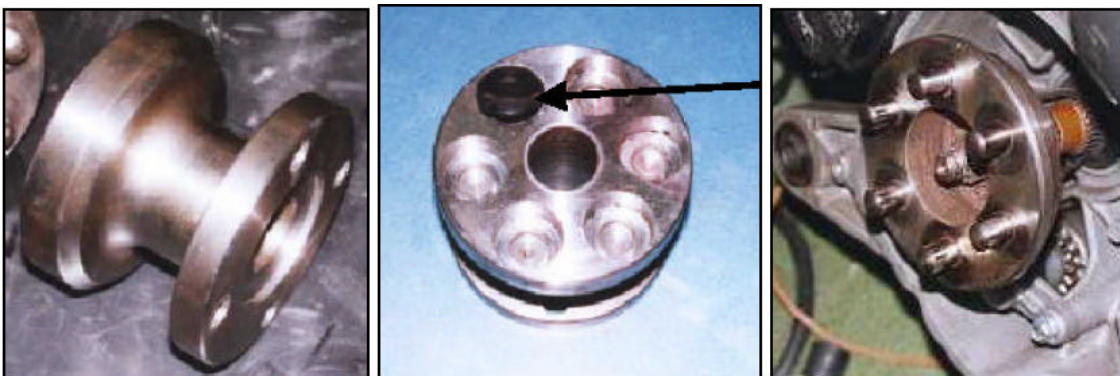


Fig. 7.6 Transmissió del motor al fre

2 - Neteja general del carburador, per la total obstrucció dels seus conductes deguda a una exposició de temps elevat a benzina en mal estat.

3- Fixació a la bancada, de la funda que recobreix el cable del gas (Fig. 7.7), per evitar malmetre el carburador o la tubera de goma que el fixa al càrter. Això es degut a que sinó es fixa la funda, la força que es realitza al estira el cable del gas, es suportada únicament per la tubera d'admissió. D'altra banda, si es fixa la funda és aquesta mateixa la que equilibra la força.





Fig. 7.7 Fixació de la funda del cable del gas a la bancada

4 - Connexió del sistema elèctric del estàrter del carburador a el sistema elèctric del banc governat per els botons del panell. D'aquesta manera ens assegurem la seva connexió només quan es fa ús del motor, evitant possibles consums de la bateria innecessaris i la connexió i desconnexió manuals que requeria fins al moment.

5 - Amb el pas del temps i la utilització del banc, al interior del seu circuit de refrigeració s'hi acumulant partícules indesitjables que n'obstrueixen el pas del l'aigua (refrigerant). És per això que s'ha procedit al desembossament del circuit hidràulic de refrigeració del fre motor. Aquest fet es fa evident quan el sistema de seguretat de la instal·lació, para automàticament el seu funcionament. Per a netejar-lo s'ha desmuntat els tubs de subministrament d'aigua (Fig. 7.8) i s'ha aplicat aire a pressió. D'aquesta manera es millora en certa mesura aquesta situació indesitjable.





Fig. 7.8 Banc de proves amb circuit d'alimentació d'aigua desmuntat

6 - Calibració de l'accionament amb el qual es governa l'obertura del carburador. Aquest accionament consta d'una palanca i un cos amb 11 orificis útils. D'aquesta manera al 1^{er} orifici li correspon un 0% d'obertura del carburador, al 3^{er} un 14%, al 4^{rt} un 25%, al 7^e un 63%, al 10^e un 95% i al 11^e el 100% d'obertura (Fig. 7.9).

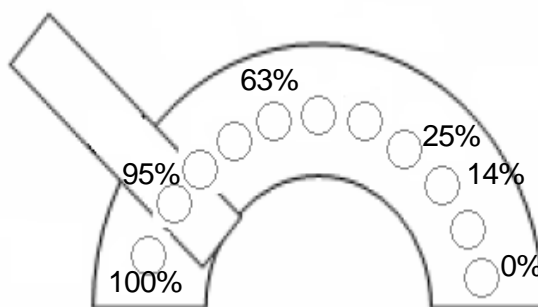


Fig. 7.9 Control de la obertura



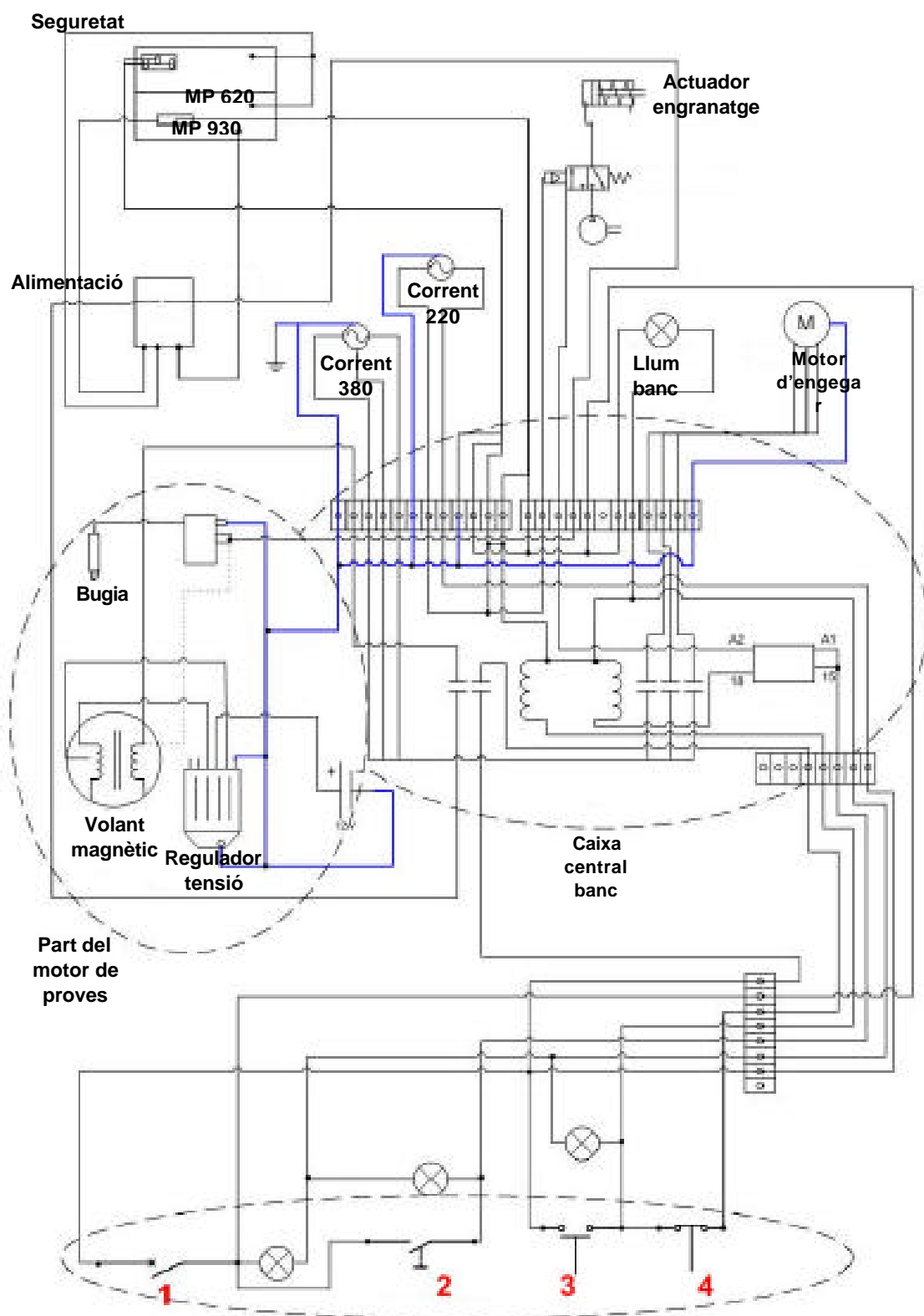


Fig. 7.10 Circuit elèctric del banc de proves



En la figura 7.10 es mostra el circuit elèctric original del banc de proves on els pulsadors 3 i 4 controlen la connexió i desconexió d'uns contactor magnètics respectivament. Les úniques modificacions que s'han realitzat sobre el circuit original són la connexió de la bomba de combustible i del estàrter del carburador a 12 V passant per aquest contactor magnètic (Fig. 7.11).

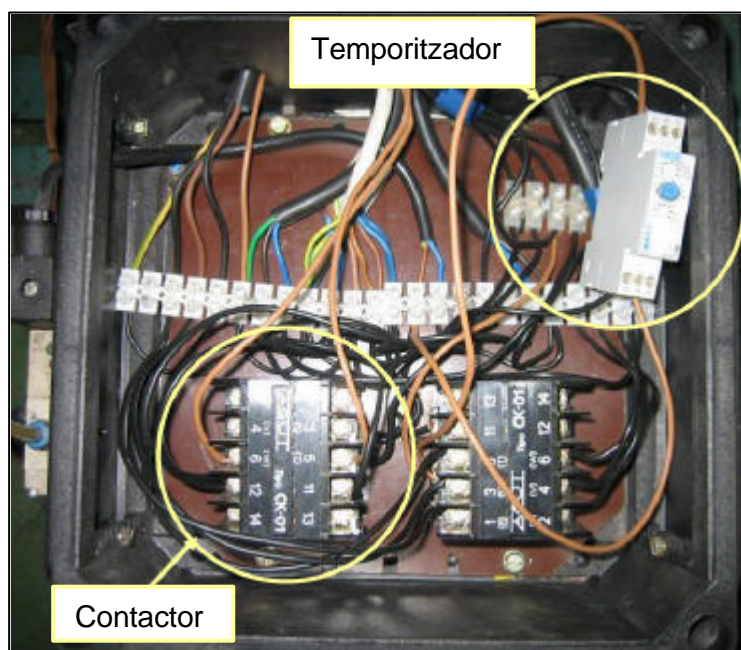


Fig. 7.11 Caixa de connexions elèctriques del banc



7.4. Manual de funcionament

En el panell de control situat a la part frontal (Fig. 7.12) hi ha 4 elements.



Fig. 7.12 Panell Frontal

- 1 – Interruptor de l'alimentació general
- 2 – Polsador per al motor d'engegar
- 3 – Polsador per connectar motor
- 4 - Polsador per a desconnectar el motor

Per posar en marxa el motor quan està fred es procedeix a:

- Obrir l'aixeta de la benzina que alimenta el carburador i assegurar que la bomba està desconnectada.
- Obrir el circuit d'aigua que s'utilitza per a refrigerar el fre dinamomètric i que està situat al seu peu.
- Girar l'interruptor 1 del panell de control (Fig. 7.12), que dona tensió a tot el sistema de treball.



Fig. 7.13 Aparell de control MP 930 i de mesura MP 620 del banc de proves



- Connectar els elements de mesura MP 620 i de control del fre MP 930 de la figura 7.13. Aquest últim situar-lo a les revolucions desitjades de funcionament i seleccionar $N = K$ (rpm constant).



Fig. 7.14 Aparell d'anàlisi dels gasos

- Connectar l'aparell d'anàlisi dels gasos (Fig. 7.14).
- Connectar el ventilador de refrigeració del motor.
- Connectar el PC i posar amb marxa el VI (Instrument Virtual).

- Posicionar el controlador d'obertura del carburador a 0%.
- Pulsar el pulsador 3 del panell de control (Fig. 7.12), que connecta el motor.
- Girar el pulsador 2 del panell de control (Fig. 7.12) per al motor de posta en marxa. Aquest, primer activa el cilindre hidràulic i engrana el motor elèctric amb el fre. Passats 4 segons posa el motor elèctric en funcionament.
- Un cop el motor arranca deixar anar aquest últim pulsador i seleccionar el regim de funcionament amb el control del carburador i el de les rpm.

Aquest mètode s'utilitza per a fer funcionar el motor amb carburador o per fer-lo funcionar amb injecció quan encara està fred.

Per commutar de carburador a injecció:

- Tenint el motor en funcionament es tanca l'aixeta del carburador i es connecta manualment la bomba de combustible. Tot i això el motor triga uns segons a parar-se degut a la benzina que queda emmagatzemada en el carburador.
- Es connecta l'oscil·loscopi i l'aparell de control de l'injector.



- Es tanteja la senyal de l'injector per comprovar el seu funcionament i quan s'aprecia que el motor es parerà s'aplica una senyal amb la suficient amplada (duració) com per mantenir el motor en funcionament.
- Jugant amb els potenciòmetres, es busca el punt d'inici i la durada de la injecció que porten el motor a un funcionament estable i de bones prestacions (bon par).

Per posar en marxa el motor amb injecció:

- El mateix procediment que per posar en marxa el motor en fred però amb l'aixeta del carburador tancada i la bomba connectat. És aconsellable aquest mètode quan el motor està calent.

Per parar el motor es prem el pulsador vermell numero 4 de la figura 7.12 i seguidament es paren tots els aparells. Aquest mètode, també es pot utilitzar com a parada d'emergència. Cal no oblidar-se de parar l'aigua refrigerant del fre i l'aixeta del carburador. Per últim ja només queda treure tota l'alimentació del banc desconnectant el interruptor 1 del panell frontal (Fig. 7.12).

En els motors de dos temps, al circular l'oli junt amb la benzina per l'interior del motor, aquest actua de dissolvent, netejant de lubricant les parets interiors. Quan el motor funciona amb la injecció directe, la benzina entra directament al cilindre i no passa per el càrter motor. En aquest cas la bomba d'oli proporciona la mateixa quantitat de lubricant que si funcionés amb carburador i és per aquest motiu que el motor s'engrassa mica en mica. Si això arriba a passar, s'ha de netejar la bugia successivament fins que el motor funciona correctament.

Després de moltes proves al laboratori s'ha establert un protocol de funcionament per evitar que el motor s'engrassi en accés funcionant amb injecció. Aquest consisteix a fer funcionar el motor 5 minuts amb carburador per cada 30 minuts de funcionament amb la injecció.



7.5. Proves del motor

Els motors de dos temps, poden arribar a velocitat de gir molt elevades. En aquest estudi es prenen mostres en el rang comprés entre les 1.000 i les 7.500 rpm, que és el rang de funcionament útil d'aquest motor, variant segons l'obertura del carburador.

Les mesures es prenen per a diferents obertures del carburador: 14%, 25%, 63% i 95%.

També es mesuren les proporcions de CO i de CO₂ en tant per cent sobre l'aire que s'emet a la atmosfera. Tot i que l'aparell d'anàlisi dels gasos (Fig. 7.14) en principi permet mesurar els HC no cremats en ppm (parts per milió) cal mencionar que l'aparell només mesura amb precisió fins 2140 ppm. Al no baixar mai els valor de HC d'aquest límit, s'ha desestimat aquesta mesura. Aquest fet pot ésser provocat per l'alta concentració d'oli lubricant en els gasos de la combustió i al ésser aquets HC, són mesurat per l'aparell.

En l'actualitat és difícil trobar aparells d'anàlisi de gasos per a motors de dos temps que incorporin un filtre per a l'oli. Degut a l'alt cost d'aquets i als recursos limitats econòmicament d'aquesta investigació, deixen aquesta possibilitat per investigadors successors que puguin endinsar-se amb més profunditat en la matèria.

7.5.1. Corbes del motor amb carburador

Les corbes del motor donen una gran informació de les seves prestacions. Per a tenir una referència quan es realitzen les corbes característiques amb el motor funcionant amb injecció, es prenen les corbes del motor funcionant amb carburador.

A la gràfica de la figura 7.15, es poden veure aquestes corbes extretes d'un PFC (projecte de final de carrera) anterior [19] i que varen ésser realitzades en el seu moment per a quatre obertures del carburador diferents.



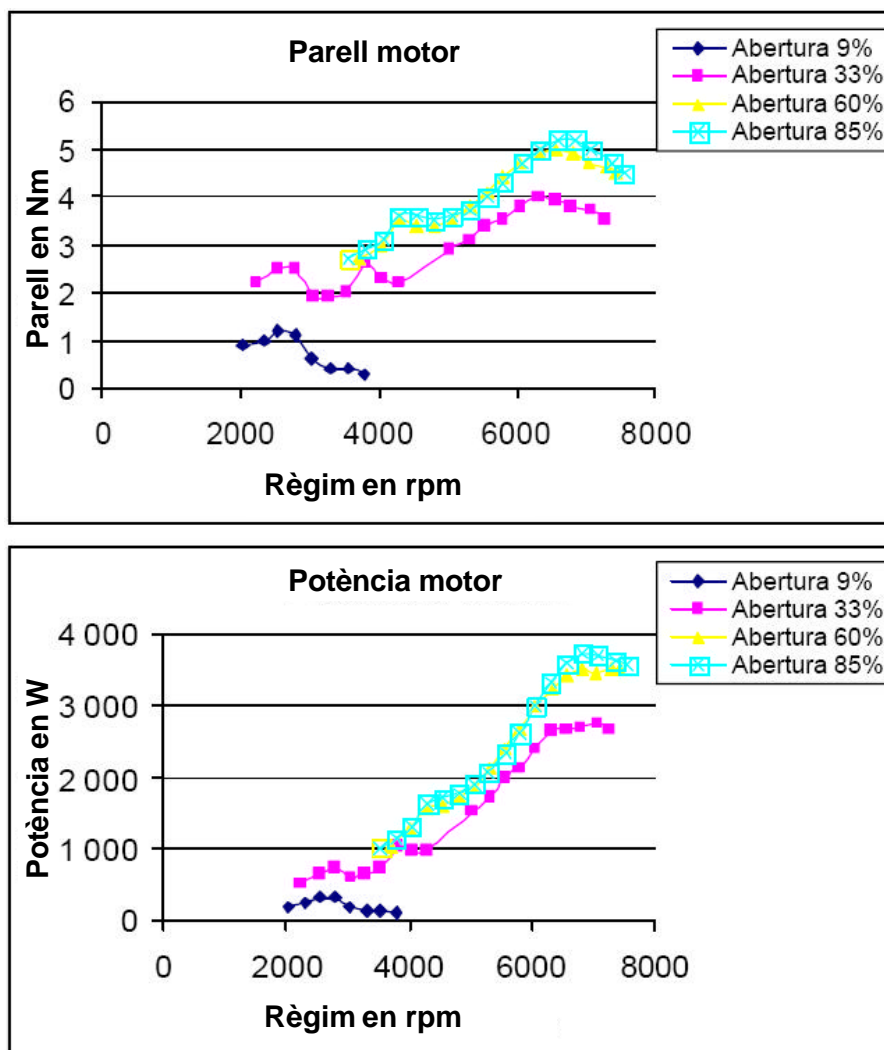


Fig. 7.15 Corbes característiques amb carburador



Del mateix PFC s'han recuperat les corbes de les emissions de CO i de CO₂ en tan per cent sobre el volum de gas emès (Fig. 7.16).

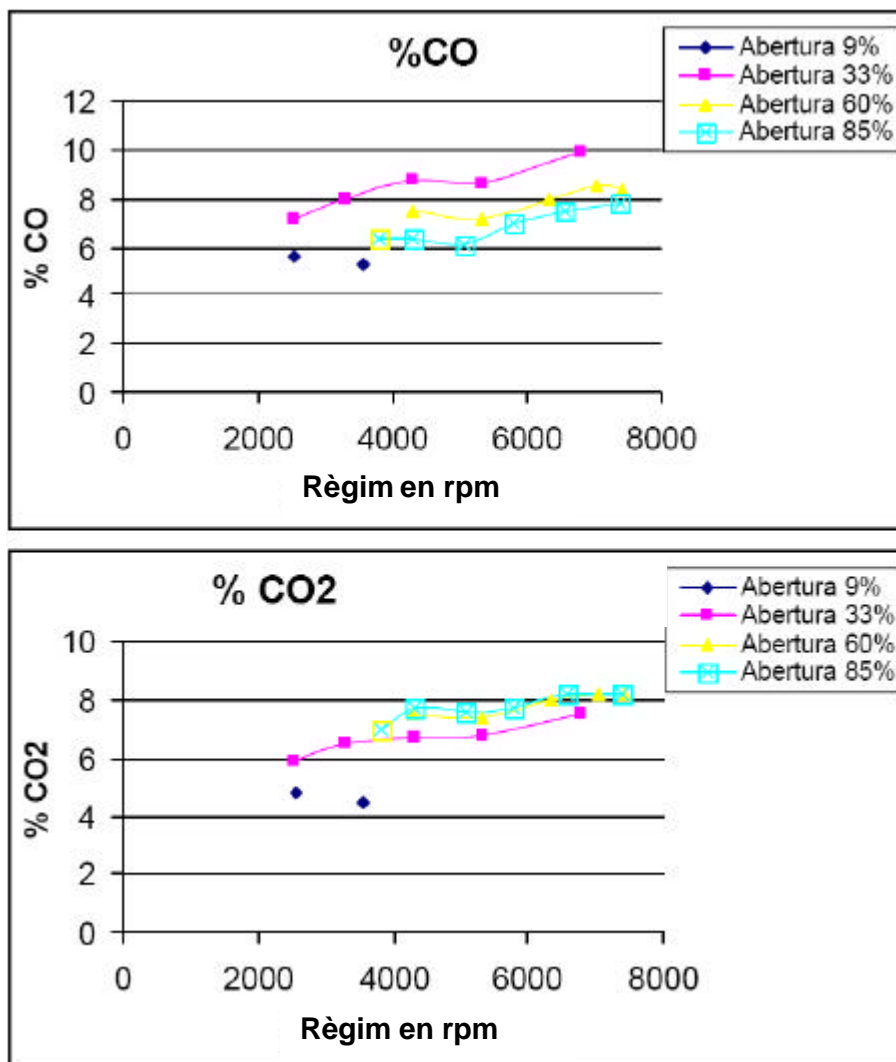


Fig. 7.16 Corbes de les emissions de CO i de CO₂ funcionant amb carburador

De les gràfiques anteriors, se'n extreu el que ja és una característica típica del funcionament dels MACI, es a dir, que el parell motor i la potència augmenten amb el règim de gir del motor, fins a arribar a un punt màxim a partir del qual comencen a disminuir.



Degut als grans fregaments mecànics a altes revolucions, el rendiment mecànic es veu perjudicat disminuint el seu valor. En conseqüència es disminueix el rendiment global que esta relacionat amb l'anterior segons l'equació 7.1. Aquesta caiguda del rendiment no pot ésser compensada amb una aportació de combustible i això es reflecteix amb el màxim de les corbes característiques.

$$h_{total} = h_{combustió} \cdot h_{mecànic} \cdot h_{cilce} \quad (\text{Eq. 7.1})$$

Cal comentar que entre les corbes a 60 % i a 80 % d'obertura les diferències són poc significatives. La diferència s'observa amb les emissions de CO, que al entrar més aire amb el 80 % obert, el contaminant disminueix.

7.5.2. Corbes del motor amb injecció

En el capítol 7.4 d'aquest projecte, s'ha especificat quin procediment s'ha de seguir per a la utilització del banc i l'obtenció del parell motor amb el fre dinamomètric. La potència es calcula multiplicant el parell per les rpm en unitats del sistema internacional.

Les proves amb el motor funcionant amb la injecció directe, s'han dut a terme per a quatre obertures del carburador diferents que en l'apartat anterior, degut a la diferent calibració del mecanisme de control de l'obertura. Tot i això, els valors escollits guarden una certa semblança amb els anteriors.

Per a obtenir les corbes es realitza un escombrat de freqüències per cada obertura del carburador seleccionada. Inicialment es posiciona el controlador d'obertura en el punt desitjat i el controlador del banc a 1.000 rpm. Mitjançant els potenciòmetre del controlador de l'injector es busca el punt d'inici i la durada de la injecció que proporcionen un parell més elevat a aquestes rpm, i es pren nota dels valors de parell, temps en ms del inici de la injecció respecte la senyal del sensor inductiu, temps en ms de durada de la injecció i emissions en % de CO i % de CO₂. Seguidament es puja 250 rpm el règim motor i es repeteix el procediment successivament fins a les 7.500 rpm i per les quatre obertures del carburador.



Tot i que hi han punts del funcionament del motor que entreguen un parell motor més elevat, el seu funcionament és inestable i amb fortes oscil·lacions, quedant fora de l'interès de la investigació. El mateix passa amb els règims elevat per obertures petites i és per aquest fet que no s'han tingut en consideració. Els resultats obtinguts s'observen en la figura 7.17.

Cal fer menció també de la possibilitat de desconectar la resistència electrònica que es troba al interior de l'aparell de control de l'injector. Al eliminar aquesta, la senyal de l'injector aconsegueix uns pics de tensió majors amb la qual cosa, la proporció de benzina que injecta es superior per un pols de la mateixa durada.

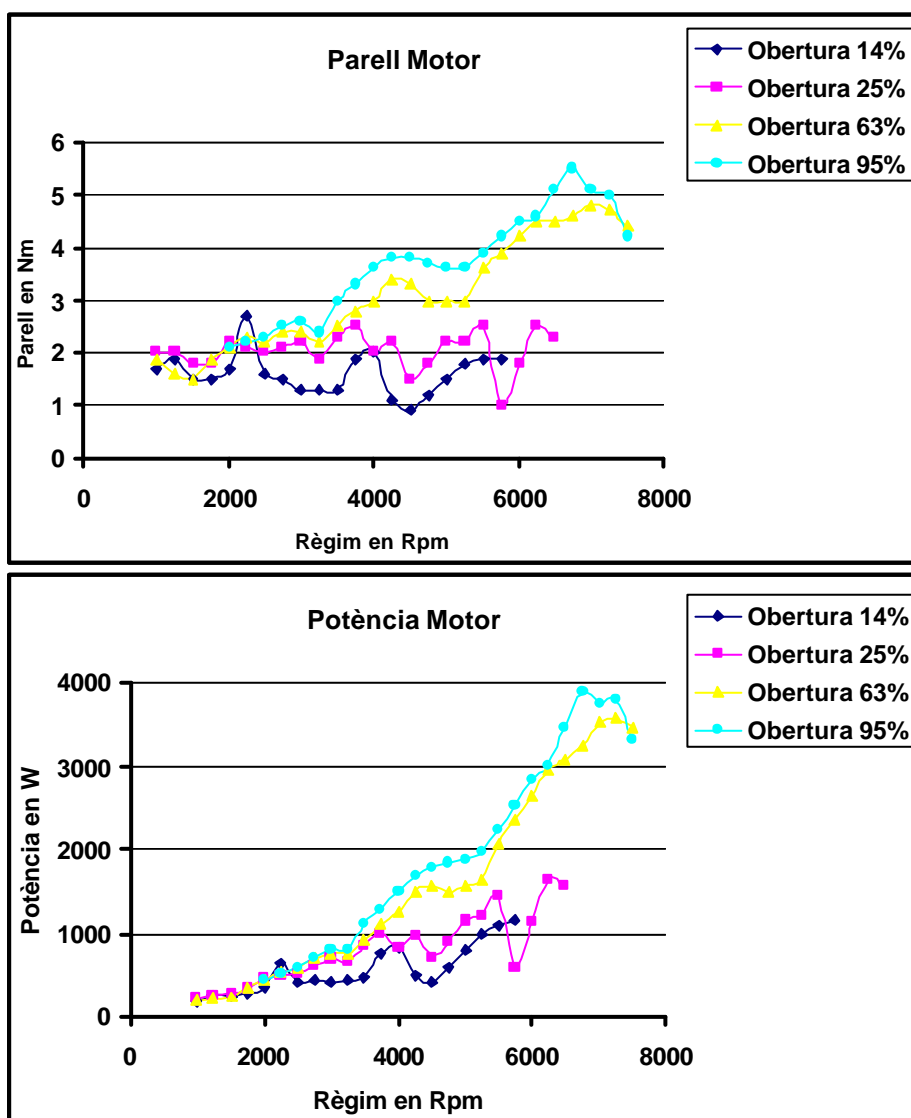


Fig. 7.17 Corbes característiques amb injecció



Al disposar d'una senyal suficientment potent amb la resistència connectada, aquesta no s'ha desconnectat en cap de les proves.

A les gràfiques de la figura 7.17 i 7.18 s'observen les corbes característiques del motor i d'emissions de CO i CO₂ respectivament. La peculiaritat dels MACI, torna a visualitzar-se en les corbes de parell i potència, marcant un màxim absolut. Cal mencionar, que s'observa la existència d'uns màxims relatius, havent aproximadament unes 2.000 rpm de separació entre màxims. Aquest fet es deu als fenòmens fluid dinàmics que afecten l'entrada d'aire al motor.

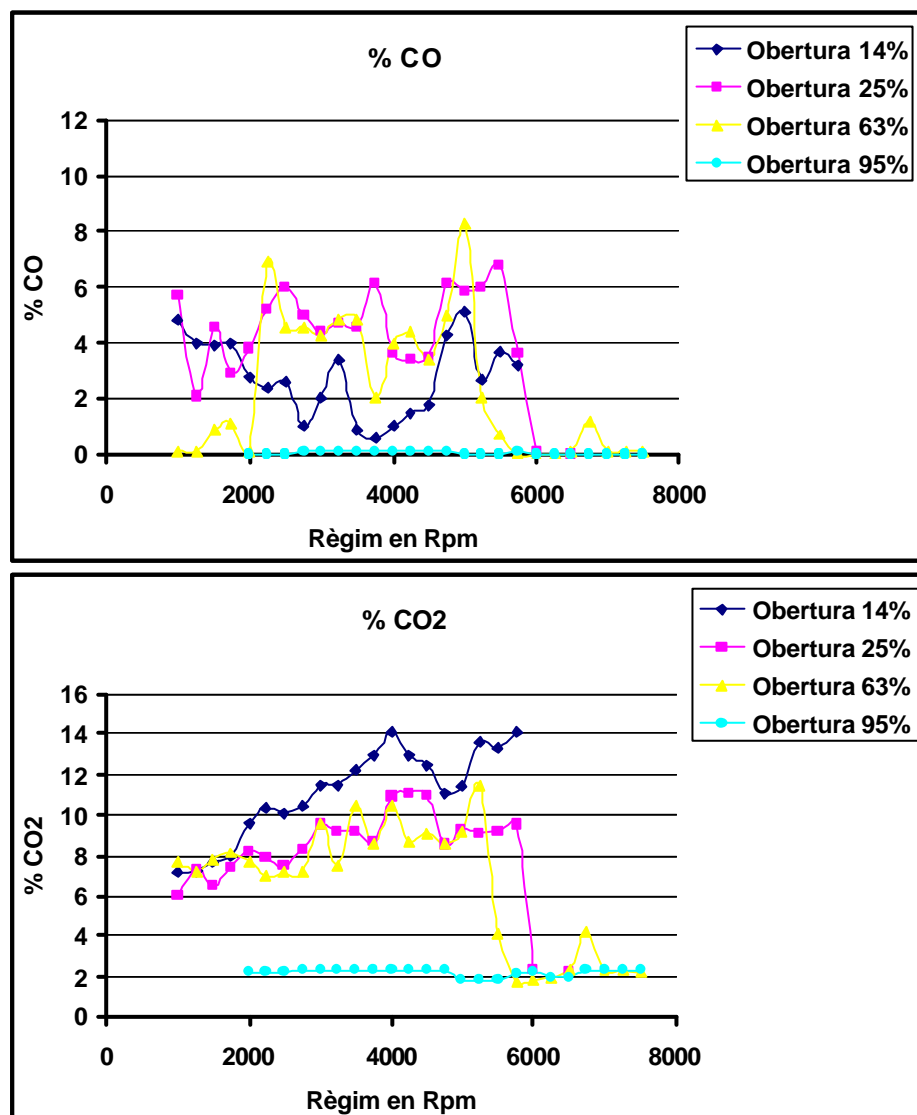


Fig. 7.18 Corbes de les emissions de CO i de CO₂ funcionant amb injecció



Al funcionar el motor amb aquest sistema, les prestacions milloren quan l'obertura del carburador augmenta, mostrant unes corbes de parell i potència monòtones i de valors elevats per a l'obertura de 95%. Al disminuir aquesta obertura, els valors també o fan fins a arribar a corbes irregulars i poc estables per a obertures del 14 i 25 %.

Amb les emissions mesurades succeeix un fenomen que recolza el del paràgraf anterior. Es tracta de la caiguda brusca que experimenten aquestes per una obertura elevada del carburador.

Aquets dos fenòmens porten a la conclusió que el motor funcionant amb injecció directe pot treballar sempre amb l'obertura del carburador al màxim, disminuint així les pèrdues del motor per aspiració d'aire i controlant les prestacions del motor (parell i potència) únicament amb els paràmetres de la injecció (dos graus de control). Aquest tipus de funcionament es correspon amb el dels MACI de quatre temps que utilitzen injecció directe de benzina i que treballen amb mescla heterogènia.

Una de les motivacions a l'origen d'aquest projecte, era la implantació del sistema de injecció per tal d'eliminar el curtcircuit (la gran problemàtica dels motors de dos temps). Per tal de valorar en quina mesura això ha estat possible, es presenten gràficament tan els graus del inici de la injecció com els del fi (Fig. 7.19 i Fig. 7.20), que han estat calculats a través dels valors de temps empírics i la geometria del motor.

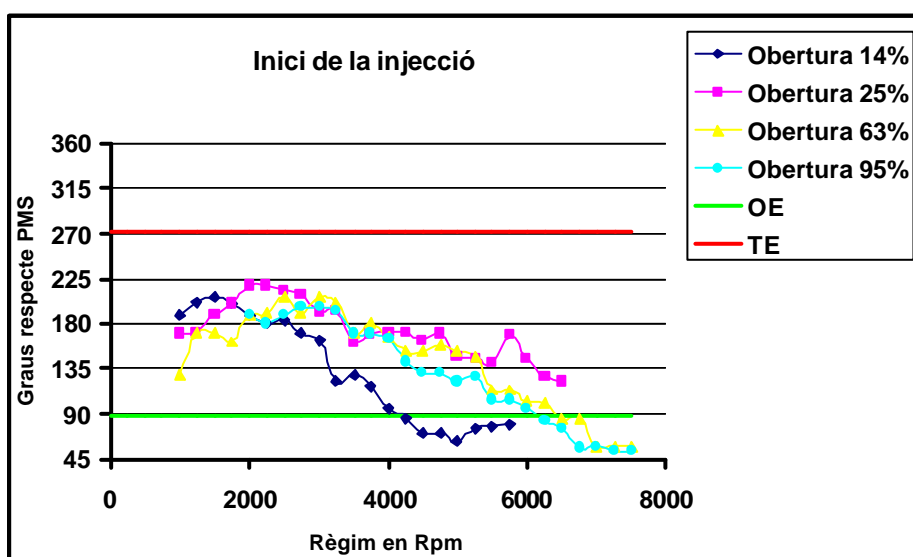


Fig. 7.19 Gràfica dels graus del inici de la injecció amb referència a l'obertura i el tancament del escapament



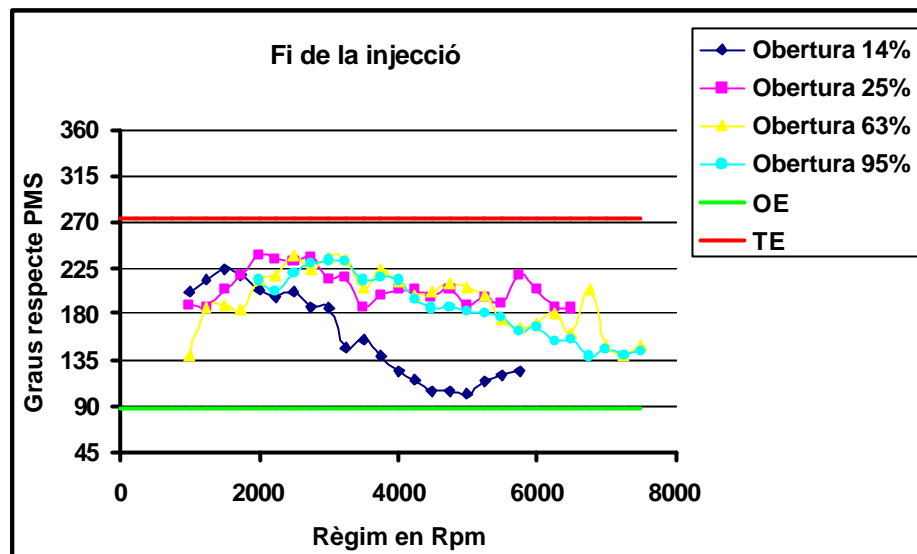


Fig. 7.20 Gràfica dels graus del fi de la injecció amb referència a l'obertura i el tancament del escapament

Tal i com s'observa, en les proves realitzades en aquesta investigació i amb els resultat obtinguts fent funcionar el motor en un punt de treball estable, la injecció mai finalitza quan l'escapament està tancat, amb la qual cosa no es pot impedir el curtcircuit. D'altra banda, al augmentar el règim, l'inici de la injecció s'avança, arribant a injectar a altes voltes del motor, fins i tot avanç de que s'obri la sortida de l'escapament mesclant-se el combustible introduït directament amb els gasos cremats evidenciant la pèrdua de part d'aquets.

Aquest fet, podria ser degut a un augment de la pressió dins el cilindre dificultant l'entrada del combustible que està a 2,5 bars. Si fos així una solució seria augmentar la pressió del combustible, substituint la bomba existent per una de més potència i canviant el regulador.

De totes maneres la pressió dins el cilindre en un MACI de dos temps, no sobrepassa considerablement la atmosfèrica fins que l'escapament es tanca. Es per això que aquest fet s'atribueix a fenòmens fluid dinàmics i a dificultats d'homogeneïtzació de la mescla amb el temps de que es disposa.



Les possibles solucions són:

- Augmentar la pressió de la injecció per que el combustible entri més polvoritzat al cilindre i es barregi més fàcilment.
- Dissenyar un pistó amb un deflector al seu cap, que permeti orientar la benzina per a disposar d'un coeficient $\varphi > 1$ en les proximitats de la bugia en el moment de la combustió.



7.6. Disseny d'un sistema d'injecció directe controlat per microcontrolador

De les proves realitzades a l'apartat anterior sen han tabulat les relatives al temps (Fig. 7.21).

Temps inici de la injecció respecte sensor inductiu (ms)					Temps de duració de la injecció (ms)				
RPM	Obertura de la papallona				RPM	Obertura de la papallona			
	14 %	25 %	63 %	95 %		14 %	25 %	63 %	95 %
1000	24	21	14		1000	2	3	2	
1250	21	17	16,8		1250	1,5	2	2	
1500	18	16	14		1500	2	1,6	2	
1750	14,8	14,8	11,2		1750	1,6	1,6	2	
2000	12	14,4	12	12	2000	1,2	1,6	2	2
2250	10	12,8	10,8	10	2250	1,2	1,2	2	1,6
2500	9,2	11,2	10,8	9,6	2500	1,2	1,2	2	2
2750	7,6	10	8,8	9,2	2750	1	1,6	2	2
3000	6,6	8,2	9	8,4	3000	1,2	1,2	1,6	2
3250	4	7,6	8	7,6	3250	1,2	1,2	1,6	1,9
3500	4	5,6	6	6	3500	1,2	1,2	1,6	2
3750	3,2	5,6	6	5,6	3750	1	1,2	2	2
4000	2,1	5,3	5,1	5	4000	1,2	1,3	1,8	2
4250	1,6	5	4,2	3,8	4250	1,2	1,2	1,8	2
4500	1	4,4	4	3,2	4500	1,2	1,2	1,8	2
4750	0,9	4,4	4	3	4750	1,2	1,2	1,8	2
5000	0,6	3,4	3,6	2,6	5000	1,3	1,4	1,8	2
5250	1	3,2	3,25	2,6	5250	1,2	1,6	1,6	1,7
5500	1	2,9	2,1	1,8	5500	1,3	1,5	1,8	2,2
5750	1	3,6	2	1,7	5750	1,3	1,4	1,5	1,7
6000		2,8	1,6	1,4	6000		1,6	1,9	2
6250		2,2	1,5	1	6250		1,6	2,1	1,9
6500		2	1	0,8	6500		1,6	2	2
6750			1	0,3	6750			2,9	2
7000			0,3	0,3	7000			2,2	2,1
7250			0,3	0,2	7250			1,9	2
7500			0,3	0,2	7500			2	2

Fig. 7.21 Taula de temps de inici de la injecció en ms. respecte sensor inductiu (esquerra) i taula de duració de la injecció ms. (dreta), funció de les rpm. i obertura del controlador del carburador



El posicionador d'obertura del carburador consta de dos potenciòmetres muntats en oposició per crear redundància i facilitar la detecció d'averies. Al variar l'obertura del carburador, varia la posició del potenciòmetre i per tant el voltatge de sortida que arriba al PIC i que es interpretat pel mateix.

Tot i que aquest sistema no s'ha arribat a materialitzar, es facilita total la informació necessària per que futurs investigadors en puguin fer ús, i a esser possible, construir-ne un prototip.



8. Estudi de impacte ambiental

La imprecisió dels carburadors al subministrar combustible, és una evidència que es pot apreciar en els resultats de la investigació precedent a aquesta [18].

Encara que els mitjans disponibles no han permès realitzar un estudi quantitatiu y comparatiu entre el mode de funcionament convencional i el que fa ús de la injecció directe, es coneix que amb el sistema electrònic la proporció de combustible amb la que s'abasteix el motor pot esser regulada segons convingui. D'aquesta manera s'aconsegueixen zones de funcionament del motor amb mescla heterogènia, que permeten disminuir el consum, al utilitzar una proporció de benzina menor al estequiomètric.

Dels resultats obtinguts de les proves d'emissions contaminants realitzades amb injecció, el motor disminueix acusadament l'emissió de CO₂ mantenint-la en un valor estable i el CO al mínim, quan l'entrada d'aire està totalment oberta (sense oposar resistència al pas de l'aire).

Pel que fa al consum comparatiu de combustible, no ha estat possible l'obtenció de valors exactes. Tot i així, cal remarcar que s'ha observat en les proves al laboratori, la necessitat d'un temps més prolongat per al consum de la mateixa quantitat de combustible en el cas de la injecció respecte el carburador.

La implantació de la injecció directe en els motors de dos temps és una porta que guia aquest tipus d'arquitectura cap al respecte per al medi ambient i el no malbaratament de recursos energètics, tan escassos actualment.





9. Costs

En els costs del present projecte, s'inclouen per una banda els materials que han estat necessaris per la realització pràctica del projecte i que no estaven disponibles en la investigació precedent [18]. Per l'altra banda, es comptabilitzen les hores de treball d'enginyeria, que inclouen des de el disseny conceptual i tècnic, fins al muntatge i la realització de les proves.



Concepte	Referència	Unitats	Import unitari	Cost total
Material				
Diode		2	0,02 €	0,04 €
Led		3	0,02 €	0,06 €
Condensador		8	0,04 €	0,32 €
Resistència 1/4W		4	0,16 €	0,64 €
Resistència 2W		2	0,85 €	1,70 €
Resistència variable		2	0,95 €	1,90 €
Integrat		6	0,60 €	3,60 €
Interruptor		2	0,38 €	0,76 €
Transistor		1	0,04 €	0,04 €
Caixa		1	11,74 €	11,74 €
Base		4	0,03 €	0,12 €
Placa soldadura		1	2,55 €	2,55 €
Connector		6	0,04 €	0,24 €
Tarja DAQ	NI USB-6210	2	475,00 €	950,00 €
Estany		1	4,02 €	4,02 €
Cable		12 m	2,00 €	24,00 €
PC		1	600,00 €	600,00 €
Monitor		1	200,00 €	200,00 €
Sensor Inductiu Magneti-Marelli	SEN 8K3	1	4,00 €	4,00 €
Oscil·loscopi		1	900,00 €	900,00 €
Regulador pressió		1	30,00 €	30,00 €
Bomba combustible		1	50,00 €	50,00 €
Total Materials =				2.785,73 €
Ma d'obra				
Sou d'un enginyer amb 6 mesos de treball				18.000,00 €
Total material i ma d'obra =				20.785,73 €
Impostos			16%	3.325,72 €
Total =				24.111,45 €



Conclusions

La conclusió principal que se'n pot extreure de l'elaboració d'aquest projecte, és que un motor de combustió interna de 2T pot funcionar amb injecció directa de benzina que únicament aporta combustible, a diferència dels sistemes ja existents que la injecten barrejada amb aire.

Per una altre banda, tot i que els resultats no compleixen certes propietat que es desitjarien, com poder realitzar la injecció després del tancament del trànsfert d'escapament (evitant el curtcircuit), aquesta investigació obra la porta a possibles modificacions en el mateix, que podrien desencadenar en resultats més positius.

Així doncs, es creu que amb aquest projecte no s'ha obtingut un sistema definitiu que permeti la seva implantació de manera senzilla a la majoria de motors d'aquesta categoria ja existents, però si es creu que és l'inici del que poden ésser moltes investigacions posteriors, creant un precedent en aquets tipus de gestió.





Agraïments

Desitjo agrair al meu director del projecte, Dr. Ernesto Gutiérrez Gonzalez, l'orientació proporcionada, que a estat clau per poder finalitzar-lo. Així com la seva plena dedicació que m'ha proporcionat molts coneixements nous i diferents perspectives a l'hora de buscar solucions als problemes trobats.

També desitjo agrair al Dr. Jesús A. Álvarez Flórez, tan els seus consells i observacions com el suport i la confiança que m'ha concedit i que m'ha permès treballar al laboratori en un ambient familiar.

En general, també agrair que se m'hagi ofert la possibilitat de realitzar aquest projecte, que m'ha permès ampliar molts coneixements sobre una matèria que sempre m'ha fascinat, que per una banda m'ha permès aplicar els meus coneixements i a més m'ha deixat el record d'uns bons moments.

Per últim agrair al responsable del laboratori, Julio Perez Gascon, l'ajut proporcionat en la realització de la part pràctica del projecte i al departament de Màquines i Motors Tèrmics de l'ETSEIB, tot el material que ha posat a la meva disposició per la realització del projecte.





Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] Gutierrez, E. Apunts de l'assignatura "Ampliació de Motors Tèrmics" impartida en el quadrimestre de tardor curs 2007/2008, tema 8 pàg. 3.
- [2] [<http://www.tecnomoto.com/prueba/aprsrdit.html>, 11/6/08, 11:32].
- [3] M. Arias-Paz, Motocicletas, 32^a edició Octubre 2003, Dossat 2000 S.L., pàg. 155 .
- [4] M. Arias-Paz, Motocicletas, 32^a edició Octubre 2003, Dossat 2000 S.L., pàg. 177.
- [5] Gutierrez, E. Apunts de l'assignatura "Ampliació de Motors Tèrmics" impartida en el quadrimestre de tardor curs 2007/2008, tema 8 pàg. 13.
- [6] Gutierrez, E. Apunts de l'assignatura "Ampliació de Motors Tèrmics" impartida en el quadrimestre de tardor curs 2007/2008, tema 8 pàg. 12.
- [7] Gutierrez, E. Apunts de l'assignatura "Ampliació de Motors Tèrmics" impartida en el quadrimestre de tardor curs 2007/2008, tema 8 pàg. 4.
- [8] [http://www.educauto.org/Documents/Tech/ANFA_INJECTION_MOTO/Originaux/pages/injection_directe.htm, 11/6/08, 11:20].
- [9] [http://www.educauto.org/Documents/Tech/ANFA_INJECTION_MOTO/Originaux/pages/injection_directe.htm, 11/6/08, 11:20].
- [10] [http://www.educauto.org/Documents/Tech/ANFA_INJECTION_MOTO/Originaux/pages/injection_directe.htm, 11/6/08, 11:20].
- [11] [http://www.educauto.org/Documents/Tech/ANFA_INJECTION_MOTO/Originaux/pages/injection_directe.htm, 11/6/08, 11:20].
- [12] [http://www.educauto.org/Documents/Tech/ANFA_INJECTION_MOTO/Originaux/pages/injection_directe.htm, 11/6/08, 11:20].



- [13] [http://motorsport.magnetimarelli.com/NewCatalogue%5CCatalogo_Completo%5CMotorsportProducts2008_V01.pdf, 8/6/08, 22:00]
- [14] A. Pérez, Memòria PFC “Sistema de control, inyección y encendido, para motores térmicos y alternativos de ciclo Otto basados en programación abierta bajo LabVIEW™”, Juny 2007, Escola Tècnica Superior d’Enginyeria Industrial de Barcelona, pàg. 90.
- [15] [www.mobiq.co.kr/product/lpi_profile.gif, 25/4/07, 10:35]
- [16] F. Delpeuch, Memòria PFC “Diseño y montaje de una instalación de pruebas para MACI de 2 tiempos”, Febrer 2007, Escola Tècnica Superior d’Enginyeria Industrial de Barcelona, pàg. 67.
- [17] LabVIEW™ User Manual: [<http://www.ni.com/pdf/manuals/320999e.pdf>]
- [18] F. Delpeuch, Memòria PFC “Diseño y montaje de una instalación de pruebas para MACI de 2 tiempos”, Febrer 2007, Escola Tècnica Superior d’Enginyeria Industrial de Barcelona.
- [19] F. Delpeuch, Memòria PFC “Diseño y montaje de una instalación de pruebas para MACI de 2 tiempos”, Febrer 2007, Escola Tècnica Superior d’Enginyeria Industrial de Barcelona, pàg. 43 i 44.
- [20] Data Sheet, PIC16F631/677/685/687/689/690, 2006 Microchip Technology Inc.

Bibliografia complementària

- D. MORENO, M. *Apuntes asignatura “Electrónica del automóvil”* impartida en cuatrimestre de primavera 2006.
- Esquemas electrónicos: [<http://www.alldatasheet.com/>]
- Información general: [<http://es.wikipedia.org>]



- J. A. ÁLAVAREZ, I. CALLEJÓN i AGRAMUNT. *Motors Alternatius de Combustió Interna, Aplicacions Industrials I Tracció de Vehicles Volum 1*. Barcelona 1998, CPDA-ETSEIB (Publicacions d'Abast S.L.L.)
- J. A. ÁLAVAREZ, I. CALLEJÓN i AGRAMUNT. *Motors Alternatius de Combustió Interna, Aplicacions Industrials I Tracció de Vehicles Volum 2*. Barcelona 1998, CPDA-ETSEIB (Publicacions d'Abast S.L.L.)
- M. Arias-Paz, *Motocicletas*, 32^a edició Octubre 2003, Dossat 2000 S.L.

